MRL Lift Design and Development

A firsthand account of the origins of the modern MRL

by Hongliang Liang

A technology breakthrough was announced in 1996: a way to locate a gearless permanent-magnet (PM) motor directly in the shaft to eliminate the machine room. Though the PM motor were to be small, it would produce high torque to directly drive the car and counterweight in an RPM range of one to 1,000 (versus traditional inductive-motor RPMs of one to 100). To obtain as great a driving force (torque divided by radius) as possible, the radius of the driving sheave would be as small as possible, and the ratio of the roping would be as large as possible, such as 2:1 or 4:1.

Background

Your author has studied machine-room-less (MRL) lift technology since joining Quality Lift Products Ltd. (QLP) as a product-development engineer in 2003. The company had supplied MRL lifts to the U.K. market since 2002. With 1:1 cantilever roping, the design was expensive and poorly engineered; nor was it good for capacity above 1000 kg, as all the loads were taken by one wall on one side of the shaft. In developing future products for QLP, I tried very hard to change the roping to 2:1.

In 2004, I got a chance to do the conceptual MRL lift design for the London Underground (LU) project engaged by what this article will call "Company A," which would install approximately 120 lifts for the 2012 Olympic Games. I submitted two 3D conceptual models to Company A and LU, and one was accepted. The competitor in the project will be called "Company B." This company had already been the supplier of all electric equipment for that project. My design ultimately helped QLP to be the supplier, providing all mechanical equipment.

The reasons why LU wanted tailor-made MRL lifts are:

- These MRL lifts had to have through entrances, while most of the existing shafts in LU stations were wide but shallow (in depth). A typical MRL lift with through entrances was not possible to fit in the shafts, as the machine is mounted on one of the car guide rails, and the counterweight is accommodated at the side of the shaft and offsets the car guide rail, which requires greater shaft depth.
- MRL lifts from some manufacturers used belts to drive the lift car, which was not a good solution for the Tube stations. As the belts

مصعد بدون غرفة ماكينه التصميم و التطوير

إستعراض المصادر الأصليه للمصاعد الحديثه بدون غرفة ماكينه

كتب هونجليانج ليانج

فى 1996، تم الإعلان عن تقدم حديث فى التقنيه: طريقه لتركيب محرك دائم المغناطيسيه (PM) بدون صندوق تروس مُباشرة داخل البئر من أجل إلغاء غرفة الماكينه. بالرغم من أن المحرك دائم المغناطيسيه صغير جداً إلا أنه قد يُنتج عزم شديد للتسيير المباشر للكابينه و ثقل الموازنه بمدى من سرعة دوران المحرك من واحد إلى 1000 لفه فى الدقيقه (مُقابل السرعه التقليديه لدوران المحركات الحثيه التى مداها من واحد إلى 100 لفه فى الدقيقه). للحصول على أكبر قوه ممكنه للتسيير (العزم مقسوم على نصف القطر)، يكون نصف قطر طارة الجر أقل ما يُمكن، و تكون نسبة التعليق أكبر ما يمكن، مثل 1:2 أو 1:4.

الخلفيه

قام كاتب المقال بدراسة تقنية المصعد بدون غرفة ماكينه (MRL) منذ أن إلتحق بشركة جودة منتجات المصاعد المحدوده (QLP) كمهندس تطوير منتجات فى 2003. قامت الشركه بتوريد مصاعد بدون غرفة ماكينه لسوق المملكه المتحده منذ 2002. بنسبة تعليق 1:1كابولى، كان التصميم عالى التكلفه و ضعيف هندسياً؛ كما لم يكن جيداً للحمولات أعلى من 1000 كج، حيث كانت كل الأحمال يتم تحميلها على حائط واحد على جانب واحد من البئر. عند تطوير المنتجات التاليه للشركه، حاولت جاهداً أن أغير التعليق ليكون 1:2.

فى 2004، جاءتنى الفرصه لتنفيذ مفهوم تصميم مصعد بدون غرفة ماكينه لمشروع مترو أنفاق لندن (LU) المرتبط بما سوف أسميه فى هذا المقال "الشركه A" التى قد تقوم بتركيب 120 مصعد لدورة الألعاب الأولمبيه 2012. قُمت بتقديم تصور لنموذجين ثلاثيين الأبعاد لشركة A و لمترو أنفاق لندن،و تم قبول أحدهما. المُنافس فى المشروع سوف يُسمى "الشركه B". كانت هذه الشركه هى المورد بالفعل لكل المعدات الكهربائيه للمشروع. فى النهايه، ساعد تصميمى على أن تكون شركة QLP المورد، حيث قامت بتوريد كل المعدات الميكانيكيه.

الأسباب التى جعلت مترو أنفاق لندن يختار مصاعد بدون غرفة ماكينه يتم تفصيلهم حسب الطلب هى:

- كان يجب أن يكون لهذه المصاعد التى بدون غرفة ماكينات بابين داخليين مُتقابلين، فى حين أن أبعاد معظم الآبار الموجوده فى مترو أنفاق لندن كانت مُتسعه فى العرض و ضيقه (فى العمق). المصعد بدون غرفة ماكينه التقليدى لم يكن من الممكن أن يتم تركيبه فى الآبار، حيث يتم تركيب الماكينه على أحد دليلى حركة الكابينه، و يكون مكان ثقل الموازنه على جانب البئر مع ترحيل مكان دلائل حركة الكابينه، مما يتطلب عمق بئر أكبر.
- المصاعد بدون غرفة ماكينه من إنتاج بعض جهات الصنع إستخدمت السيور لتسيير

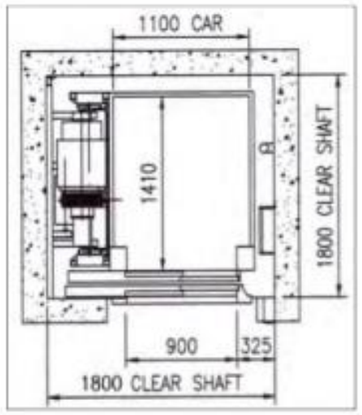


Figure 1: Plan view of a typical 630-kg, 1:1 cantilever style MRL lift

شكل 1: مسقط أفقى لمصعد تقليدى بدون غرفة ماكينه 630 كج تعليق 1:1 كابولى

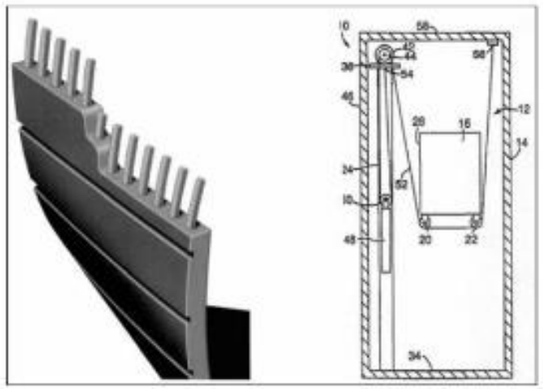


Figure 2: Patent (belts)

شكل 2: براءة إختراع (سيور)

Figure 3: Patent (machine overhead)

شكل 3: براءة إختراع (ماكينه أعلى البئر)

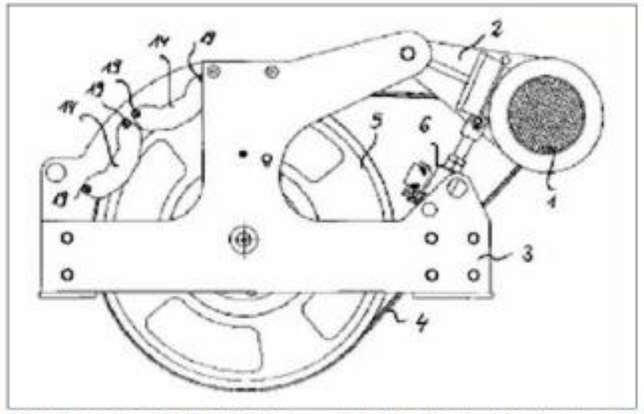


Figure 4: German patent DE0217287U1, displaying a concept to increase the torque without using a gearbox

شكل 4: براءة إختراع ألمانيه DE0217287U1، توضح فكره لزيادة العزم بدون إستخدام صندوق تروس

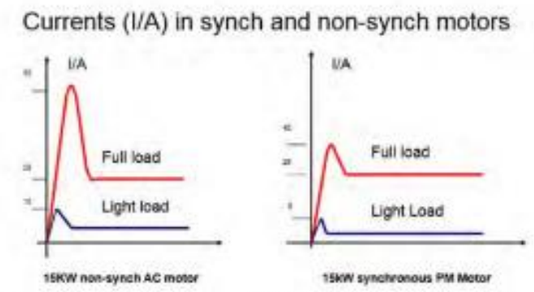


Figure 5: Synchronous PM motor and AC inductive motor current comparison

شكل 5: مُقارنه بين التيار الكهربائى لمحرك دائم المغناطيسيه و محرك حثى

Relationship Between D/d and Rope Life

$$F = T/R \qquad (2)$$

where F = driving force, T = torque, and R = radius. One way to have enough F under a constant motor rotary speed is to make the radius of the driving sheave as small as possible. However, the sheave diameter must be greater than 40 times the rope diameter. Normally, in MRL lift design, the rope diameter (d) selected is 8 mm (more specifically, 7.92 mm). The sheave diameter (D) is 40 X d = 320 mm. If the rope diameter is too small, it will need too many ropes when under load. With a pencil-style PM motor, D has to be as small as possible, which is why some MRL manufacturers have to use the belts, instead of ropes, to drive the lift car and counterweight. It is important to note that D/d should be at least 45; otherwise, the ropes will wear very quickly — possibly reduced to less than two years for a very busy lift.

العلاقه بين $D\backslash d$ و بين عمر الحبل

$$F = T/R \qquad (2)$$

حيث F = قوة التسيير، T = العزم، R = نصف القطر. أحد طرق الحصول على قوة تسيير (F) كافيه مع سرعة دوران ثابته للعضو الدوار هى جعل نصف قطر طارة الجر أصغر ما يمكن. مع ذلك، فإن قطر طارة الجر يجب أن يكون أكبر من ٤٠ ضعف قطر الحبل. عادة، عند تصميم مصعد بدون غرفة ماكينه، فإن قطر الحبل(d) الذى يتم إختياره يكون ٨ مم (بدقه أعلى ٧,٩٢ مم). قطر طارة الجر (D) تكون ٤٠ × d = ٣٢٠ مم. إذا كان نصف قطر الحبل صغير جداً سيكون من المطلوب وجود عدد كبير من الحبال عند وجود حمل. مع محرك دائم المغناطيسيه مُستدق الطرف، D يجب أن تكون أصغر ما يمكن، و هو السبب الذى أجبر بعض جهات صنع المصاعد بدون غرفة ماكينه على إستخدام السيور، بدلاً من الحبال، لتسيير كابينة المصعد و ثقل الموازنه. من المهم ملاحظة أن D\d يجب أن تكون ٤٥ على الأقل؛ و إلا، سوف تبلى الحبال سريعاً جداً - ممكن أن يقل عمرها إلى أقل من سنتين للمصاعد كثيفة الإستخدام.

Figure 7: Conventional car sling

شكل 7: كادر كابينه تقليدى

Figure 8: Integrated car

شكل 8: كابينه مُدمجه

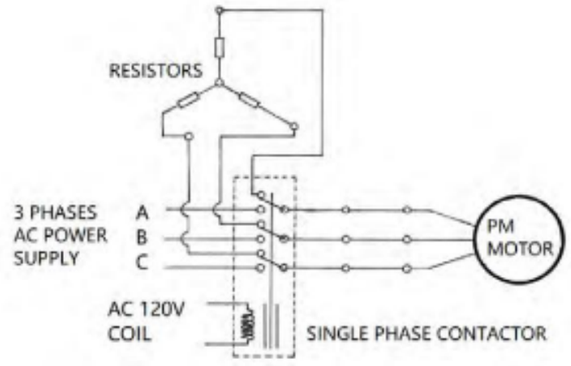


Figure 9: New circuit diagram

شكل 9: دائره كهربائيه جديده

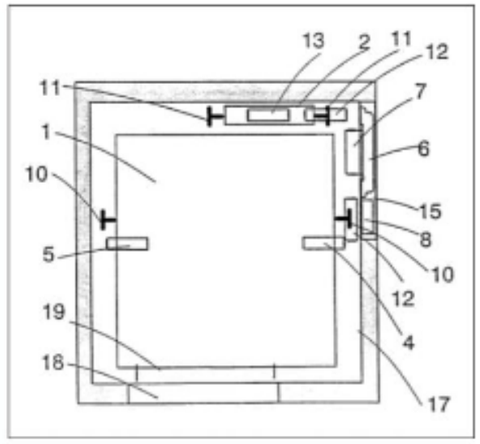


Figure 10: Patent EP0680920: machine in the rear shaft wall

شكل 10: براءة إختراع رقم EP0680920: ماكينه على الحائط الخلفى للبئر

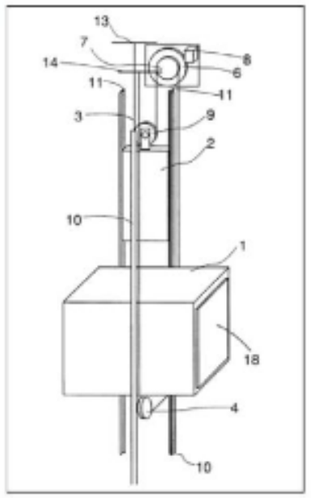
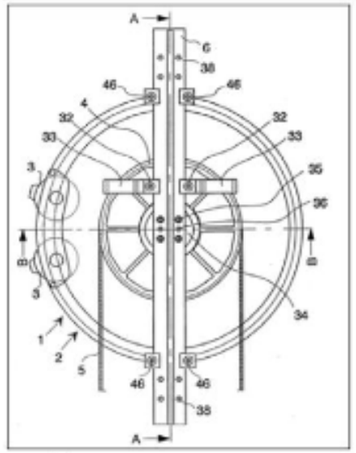


Figure 11: Patent EP0631967: disc machine between the car and shaft wall

شكل 11: براءة إختراع رقم EP0631967: ماكينه بشكل قرص بين الكابينه و حائط البئر

Figure 12: Patent EP0688735: machine mounted on the guide rail

شكل 12: براءة إختراع رقم EP0688735: ماكينه يتم تركيبها على دلائل الحركه



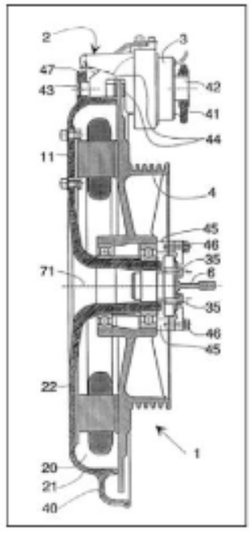


Figure 13: Patent EP068873: disc machine design

شكل 13: براءة إختراع رقم EP068873: تصميم ماكينه على شكل قرص

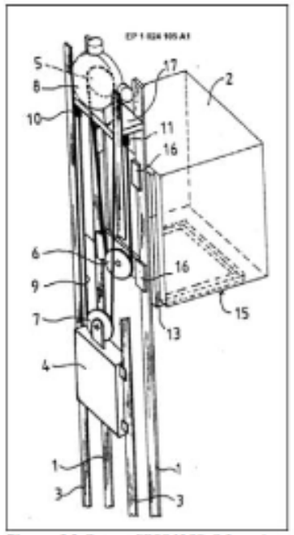


Figure 14: Patent EP024105: 2:1 roping in cantilever-style MRL lift

شكل 14: براءة إختراع رقم EP024105: تعليق 1:2 كابول لمصعد بدون غرفة ماكينه

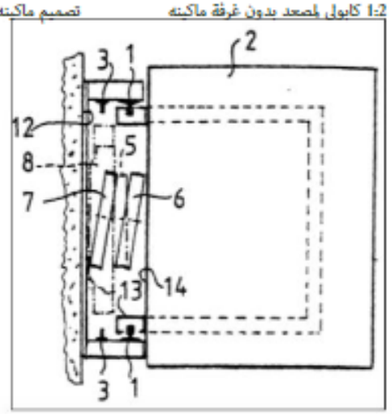


Figure 15: Patent EP024105 (same as Figure 14), plan view

شكل 15: براءة إختراع رقم EP024105 (مثل شكل 14)، مسقط أفقى

Ideal Speed and Effectiveness

As most PM motors are designed for 2:1 roping, assume the speed of a lift (V) as 1 m/s, and D = 320 mm. Then, rotary speed for 2:1 roping would be 240 rpm. If the roping is 1:1, the speed is half that of 2:1 roping. PM motors have wide speed ranges; ideal rotary speed may be 400 rpm (for 1.6 m/s speed) or higher.

PM motor effectiveness at low speed cannot be very high (should be less than 83%). Some product advertisements claimed effectiveness greater than 95% — that is at ideal speed. For example, at 1.6 m/s, with 2:1 roping, the required ideal speed is 400 rpm). At lower speeds, such as 1 m/s, the lost energy will be converted into heat. As the rare earth magnet is rather sensitive to overheating, the motor is prevented from working very frequently (e.g., as it would in a high rise). If the motor overheats, when temperature is greater than 150°C, it may temporarily lose magnetism; if it overheats too seriously (e.g., at 370-400°C/short circuits), it may permanently lose magnetism. This is why most PM motor installations must include ventilation fans.

السرعه المُثلى و الفعاليه

حيث أن معظم المحركات دائمة المغناطيسيه يتم تصميمها لنسبة تعليق ١:٢، إفترض أن سرعة المصعد (V) هى ١ م \ ث، و أن D = ٣٢٠ مم. إذاً، فإن سرعة الدوران لتعليق ١:٢ تصبح ٢٤٠ لفه فى الدقيقه. إذا كان التعليق ١:١، فإن سرعة الدوران ستصبح نصف سرعة الدوران لتعليق ١:٢. المحركات دائمة المغناطيسيه مداها مُتسع: سرعة الدوران المثاليه قد تكون ٤٠٠ لفه فى الدقيقه (لسرعه ١,٦ م\ث) أو أعلى.

فعالية المحركات دائمة المغناطيسيه لا يمكن أن تكون مرتفعه فى السرعات المُنخفضه (ستكون أقل من ٨٣ ٪). بعض إعلانات المنتجات زعمت فعاليه أكبر من ٩٥ ٪ - ذلك يكون عند السرعه المثاليه. على سبيل المثال، عند سرعه ١,٦ م\ث، مع تعليق ١:٢، تكون سرعة الدوران المطلوبه ٤٠٠ لفه فى الدقيقه). عند السرعات الأقل، مثل ١ م \ ث، ستتحول الطاقه المُهدره إلى حراره. حيث أن المغناطيسات المُصنعه من عناصر أرضيه نادره تكون حساسه فعلياً لإرتفاع درجة الحراره، يتم منع محرك المصعد من العمل المُتكرر جداً (مثل، عندما تعمل فى مبانى مرتفعه). عندما ترتفع درجة حرارة المحرك بشده، عندما تكون درجة الحراره أعلى من ١٥٠ درجه مئويه، قد تفقد المغناطيسيه مؤقتاً؛ إذا إرتفعت درجة الحراره لمستوى أكثر خطوره (مثل، عندما تصل إلى ٣٧٠ - ٤٠٠ درجه مئويه \ قصر دائره)، قد تفقد المغناطيسيه بصفه دائمه. لذلك فإن أغلب التركيبات التى تستخدم محركات دائمة المغناطيسيه يجب أن تشمل وجود مراوح للتهويه.

التسارع

بدون صندوق تروس – و الذى هو مُكبر للعزم، أكثر من كونه مُخفض للسرعه – فإن عامل تسارع المحرك دائم المغناطيسيه أقل من مثيله فى الماكينات التى تحتوى على صندوق تروس، و الذى هو عادة a = ٥ م \ ث٢.

Acceleration

Without a gearbox — which is a torque amplifier, rather than a speed reducer — the PM motor's acceleration factor is much lower than that of a geared machine, which is normally $a = 0.5$ m/s^2. When your author designed the two-floors MRL lifts for a project, the client initially specified 1.6 m/s speed. I did a calculation and showed the results to the client to prove that 2.56 m is the minimum distance to get to the full speed ($V = a$ X T, $T = V/a = 1.6/0.5 = 3.2$ s, $H = 0.5$ X a X $T^2 = 2.56$ m). If the floor height is shorter than 5.12 m (2.56 m X 2), the car will never reach full speed. This higher speed could only save a few seconds over a speed of 1 m/s, yet require the whole system to be designed to suit the higher speed. This would increase the total cost by at least 40%. Furthermore, as the PM motor would mostly work at a speed below 1.6 m/s, energy effectiveness would be poor.

Car Weight

When a torque is applied to a body, the angular acceleration (α) is given by $\alpha = \tau/I$. α depends not only on the torque (τ), but also on the moment of inertia (I) of the body about the given axis, which is determined by using the equation. When τ is fixed, to have greater acceleration, the moment of inertia of the driving-wheel assembly must be kept as small as possible. As a result, the MRL lift car should be lightweight (e.g., for a typical MRL lift with a capacity of 1000 kg, the car weight should be 790-1,150 kg). Sometimes, even aluminium cars are used to reduce their weight for reasonable acceleration.

Roping Ratio

Most MRL lifts use 2:1 roping. Benefits are:

- To reduce the number of ropes by half
- To easily increase the torque by twice at starting and low speeds
- A 50% reduction in size with the same lifting capacity
- A 1:1 motor is more than 40% more expensive than a 2:1 motor.
- 1:1 roping is not economical for capacities greater than 630 kg.

Speed

PM motors have a wide variable speed range, so the rated power should also be variable. It would be OK to use the same type of PM motors for lifts at different speeds. For example, the same PM motor could be used for MRL lift configurations of 630 kg at 1 m/s and 630 kg at 1.6 m/s.

Integrated Lift Car With Underslung Diverters

New car design concepts for MRL lifts include building the car sling with car panels together with underslung diverters to have less on the cartop. Note that a 700-mm cartop balustrade is required when the gap between the car panel and side wall is less than 500 mm; if the gap is greater than 500 mm, the balustrade height must be 1,100 mm.

High-Speed MRL Lifts

MRL lifts are not suitable for high-rise buildings. First, as the roping ratio is 2:1, when the rated speed is greater than 3 m/s, rope speed will be greater than 6 m/s, which is too fast for the whole system. Second, due to the length of ropes and compensation chain/ropes, the mass of the whole driving sheave assembly is much bigger than low-speed MRL lifts. To have acceptable acceleration, the PM motor would have to be very large. As a result, the lift shaft would not be able to accommodate the machine.

MRL Lift UCM Protection

PMs are installed in the rotors of PM motors to provide a permanent magnetic field, so it is not necessary to induce high current rotor for the motor to run. If connecting the main contactors normally closed terminals to a set of resistors, if the brakes fail when the car and counterweight are not in balance, the PM motor becomes an AC generator. In this case, the electric currents are exhausted by the resistors. While they cannot fully stop the movement, they produce a resistant torque against it to considerably slow it. This effect can be regarded as unintended car movement (UCM) protection when the brakes fail or under a misoperation (e.g., a real accident in which a service engineer remotely released the brakes, which resulted in the lift car crashing into the headroom, seriously damaging the lift car and counterweight buffer).

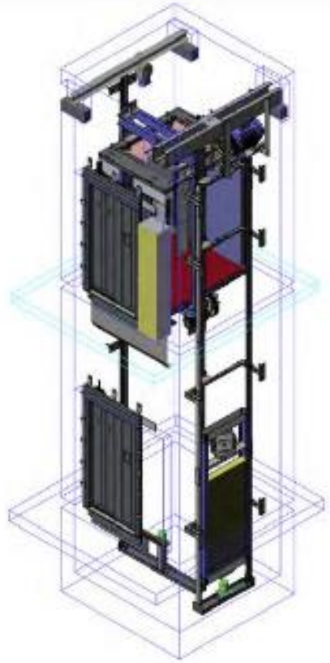


Figure 16: Exercise 1: An MRL lift with capacity greater than or equal to 800 kg

Patents

Criteria for patents in the U.K. are that the idea must not be previously disclosed, must have an inventive step and must be an industrial application. These have a 20-year lifespan. As rules can be complicated and vary from country to country, those seeking them should get professional advice (e.g., a patent agent). Abstract concepts such as the following are not patentable in the U.K.:

- Scientific theories
- Presentations of information
- Computer programs
- Methods of diagnosis

مصاعد سريعه بدون غرفة ماكينه

المصاعد بدون غرفة ماكينه غير مناسبه للمباني المرتفعه. أولاً، لأن نسبة التعليق 1:2، عندما تكون السرعه أعلى من 3 م \ ث، ستكون سرعة تحرك الحبال أكبر من 6 م \ ث، و التى تُعتبر سرعه عاليه جداً بالنسبه للنظام ككل. ثانياً، نتيجه لطول الحبال و جنازير \ حبال التعويض، فإن الكتله الكليه لمجموعة التسيير تكون أكبر منها من حالة المصاعد بدون غرفة ماكينه منخفضة السرعه. للحصول على عجله مقبوله، قد يكون من المطلوب أن يكون حجم المحركات دائمة المغناطيسيه كبير جداً. كنتيجه لذلك، قد لا يستطيع البتر أن يكون قادراً على إستيعاب الماكينه.

حماية المصاعد بدون غرفة ماكينه ضد الحركه غير المتعمده

يتم تركيب المغناطيسات الدائمه فى العضو الدوار للمحركات دائمه المغناطيسيه لكى تولد مجال مغناطيسى مستمر، لذلك ليس من الضرورى التأثير بتيار عالى القيمه فى العضو الدوار لكى يدور المحرك. إذا تم توصيل نهايات ملامسات مقفوله طبيعياً من المرحلات مع مجموعه من المقاومات، إذا فشلت الفرامل عندما لا تكون الكابينه و ثقل الموازنه فى حالة إتزان معاً، سيصبح المحرك دائم المغناطيسيه مولد لتيار متردد. فى هذه الحاله، ستتبدد التيارات الكهربائيه عن طريق المقاومات. فى حين أنهم لا يستطيعون أن يوقفوا الحركه تماماً، إلا أنهم يولدوا عزم معاكس مقاوم للحركه ليُبطئ منها بدرجه ملحوظه. هذا التأثير يمكن إعتباره حمايه ضد الحركه غير المتعمده للكابينه (UCM) عندما تنهار الفرامل أو عند حالات التشغيل المعيب للفرامل (مثلاً، حدث بالفعل حادث عندما قام مهندس صيانه بفتح الفرامل من على بعد، مما تسبب فى تحطم الكابينه بإصطدامها بسقف البتر، مما نتج عنه تلف خطير لكابينة المصعد و مخمد ثقل الموازنه).

براءات الإختراع

معايير براءات الإختراع فى المملكه المتحده هى أن لا يكون قد سبق الإفصاح عن الفكره، و يجب أن تتضمن خطوه إبتكاريه، و يجب أن تكون يمكن تطبيقها صناعياً. هذه البراءات عمر فترتها الزمنيه 20 سنه. لأن القواعد يمكن أن تكون مُعقده و تتغير من دوله لأخرى، فعلى الذين يرغبون فى تسجيلها أن يحصلوا على نصيحه إحترافيه (مثل، من وكيل إختراعات). الأفكار المجرده مثل التالى لا يمكن تسجيل براءات إختراع بشأنها فى المملكه المتحده:

- النظريات العلميه.
- تقديمات المعلومات.
- برامج الكومبيوتر.
- طرق التشخيص.

عندما قام كاتب المقال بتصميم مصاعد لدورين بدون غرفة ماكينه لأحد المشاريع، حدد العميل مبدئياً سرعه ١,٦ م \ ث. قُمت بعمل حسابات و عرضت النتائج على العميل لإثبات أن الوصول للسرعه القصوى يحتاج مسافه ٣,٥٦ م (V= a × T، T = V\ a = ١,٦ \ ٠,٥ = ٣,٢ ث، H = ٠,٥ × a × T^2 = ٣,٥٦ م). إذا كان إرتفاع الدور أقل من ٥,١٢ م (٣,٥٦ × ٢)، سوف لا تصل الكابينه أبداً للسرعه القصوى. هذه السرعه المرتفعه قد توفر فقط قليل من الثوانى أكثر من إستخدام السرعه ١ م \ ث، لكنها تتطلب تصميم النظام بالكامل ليتناسب مع السرعه الأعلى. قد يزيد ذلك من التكلفه بما لا يقل عن ٤٠ X. و أكثر من ذلك، لأن المحركات دائمة المغناطيسيه تعمل غالباً عند سرعات أقل من ١,٦ م \ ث، فإن فعالية الطاقه قد تكون منخفضه جداً.

وزن الكابينه

عند تأثير عزم على جسم، فإن العجله الدورانيه (a) نحصل عليها بإستخدام المعادله a = τ \ I. تعتمد العجله الدورانيه a ليس فقط على العزم (τ)، و لكنها تعتمد أيضاً على القصور الذاتى (I) للجسم حول المحور المحدد، و الذى يتم تحديده بإستخدام المعادله. بعد تحديده، و للحصول على أكبر تسارع، فإنه يجب الحفاظ على أن تكون قيمة القصور الذاتى لمجموعة التسيير فى أقل قيمه ممكنه. كنتيجه، فإن كابينة المصعد بدون غرفة ماكينه يجب أن تكون خفيفة الوزن (مثلاً، فلمصعد تقليدى بدون غرفة ماكينه حمولة ١٠٠٠ كج، يجب أن يكون وزن الكابينه ٧٩٠ – ١١٥٠ كج). أحياناً، يمكن إستخدام حتى الكبائن المصنوعه من الألومنيوم لتقليل وزنهم للحصول على تسارع معقول.

نسبة التعليق

أغلب المصاعد بدون غرفة ماكينه تستخدم نسبة تعليق 1:2. فوائدها:

- لتقليل عدد الحبال للنصف
- لزيادة العزم للضعف عند بداية الحركه و عند السرعات البطيئه
- تقليل 50 % فى حجم المحرك لنفس الحموله
- المحرك مع نسبة تعليق 1:1 أكثر تكلفه بنسبة أعلى من 40 % منه مع تعليق 1:2
- التعليق 1:1 ليس إقتصادى للحمولات أعلى من 630 كج.

السرعه

للمحركات دائمه المغناطيسيه مدى واسع من السرعه المتغيره، لذلك فإن الجهد المقنن يجب أن يكون متغير. قد يكون من المناسب إستخدام نفس الطراز من المحركات دائمة المغناطيسيه لمصاعد سرعاتها مختلفه. فمثلاً، فإن نفس المحرك دائم المغناطيسيه يمكن إستخدامه لتصميم مصعد بدون غرفة ماكينه حمولته 630 كج عند سرعه 1 م \ ث، و أيضاً لتصميم مصعد بدون غرفة ماكينه حمولته 630 كج و سرعته 1.6 م \ ث.

كابينه مدمجه مع طارات توجيه تحت كادر الكابينه

فكره جديده لتصميم كابينه لمصاعد بدون غرفة ماكينه تشمل تكوين كادر كابينه مع بانوهات الكابينه مع طارات توجيه حبال أسفل الكادر لتقليل الفراغ المطلوب أعلى الكابينه. لاحظ أن السور فوق سطح الكابينه بإرتفاع 700 مم يكون مطلوب عندما يكون الخلوص بين بانوهات الكابينه و بين الحائط الجانبى للبئر أقل من 500 مم؛ إذا كان الخلوص أكبر من 500 مم، يجب أن يكون إرتفاع السور 1100 مم.

شكل 16: تجربه 1: مصعد بدون غرفة ماكينه بحموله أكبر من أو تساوى 800 كج

Detailed Design

Your author joined Company B in June 2008. I was required to produce manufacturing drawings for an 800-kg MRL lift, which was based on an existing 630-kg MRL lift design in 2D with 1:1 roping. I took this chance to convert the 630-kg lift from 2D drawings to a 3D model. I was able to do this over only the course of a month, as I fully understood the principle of the previous design. Additionally, I found that the following objectives could be achieved:

- Improvements in safety
- Headroom reduction of 700 mm
- Fewer ropes and half the forces loaded on the gear/ diverter wheels
- Reductions in materials and manufacturing costs

Major Challenges Faced

Most lift components are made from sheet-metal with a minimum tolerance of ±0.5 mm. As the lift is installed in a shaft with a tolerance of ±25 mm, the components are easy to design and manufacture. Regarding engineering principle, your author mainly followed *EN 81-1 Safety Rules for Construction and Installation of Lifts*. The new lift must be 2:1, as many layouts with 2:1 roping had been registered as patents in Europe. Therefore, avoidance of infringing upon the patents was your author's greatest challenge.

Process and Investigation

Your author's 3D model enabled all problems in the existing design to be found very quickly. Not only did the design have safety issues, it also required 700 mm more headroom than most other makes. Most existing lift shafts had limited headrooms (approximately 2,800-3,500 mm), which is why MRL lifts have been in great demand for full replacement of lifts in existing buildings.

Top Clearance

Assuming the distance between the counterweight and its buffers is 200 mm, and compression is 170 mm (as minimum), four conditions must be satisfied when the counterweight rests on its fully compressed buffers:

- The guided travel of the car, still possible in the upward direction, must be equal to or greater than the minimum travel, given by the formula $0.1 + 0.035V^2$(m), where V is the rated speed (m/s).
- The free height above the roof of the car enclosure must be at least $1 + 0.035V^2$ (m).

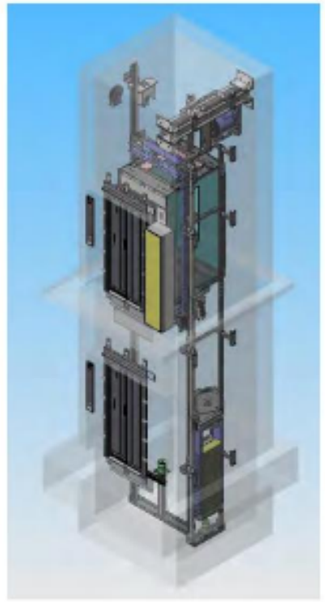


Figure 17: Exercise 2: An MRL lift with capacity less than 800 kg

شكل 17: تجربه 2: مصعد بدون غرفة ماكينه مع حموله أقل من 800 كج

التصميم التفصيلى

إلتحق كاتب المقال بالشركه B فى يونيه 2008.
كان مطلوب منه تنفيذ رسومات تصنيعيه لمصعد بدون غرفة ماكينه حموله 800 كج, و الذى كان إعتماداً على التصميم ثنائى الأبعاد الموجود لمصعد بدون غرفة ماكينه حمولة 630 كج بنسبة تعليق 1:1. إنتهزت الفرصه لتحويل الرسومات ثنائية الأبعاد لمصعد حمولة 630 كج لرسومات ثلاثية الأبعاد. تمكنت من تنفيذ ذلك خلال فترة شهر واحد, حيث تمكنت من الفهم الكامل لأسس التصميم السابق. بالإضافه إلى ذلك, وجدت أنه يمكن تحقيق الأهداف التاليه:

- تحسين فى الأمان.
- تقليل فى إرتفاع فراغ البئر فوق مستوى تشطيب أرضية أعلى وقفه بقيمة 700 مم
- عدد حبال أقل و تقليل قيمة القوى التى تتحملها طارات الجر \ التوجيه إلى النصف
- تخفيض فى تكاليف المواد و التصنيع.

أهم التحديات التى تم مواجهتها

يتم تصنيع معظم مكونات المصعد من ألواح معدنيه مع تفاوت لا يقل عن ± 0.5 مم. لأن المصعد يتم تركيبه داخل بئر بسماحيه لأبعاده ± 25 مم, فإنه من السهل تصميم و تصنيع المكونات. فيما يخص المبادئ الهندسيه فإن كاتب المقال يتبع التعليمات المذكوره فى قواعد الأمان الخاصه بتنفيذ و تركيب المصاعد (EN 81-1). المصعد الجديد يجب أن تكون نسبة تعليقه 1:2, و حيث أنه كان قد سبق تسجيل كثير من براءات الإختراع فى أوروبا لنسبة التعليق 1:2. لذلك, فإن تجنب التعدى على حقوق براءات الإختراع المُسجله كان أكبر تحدى واجهه كاتب المقال.

طريقة العمل و البحث

مكنت الرسومات الثلاثية الأبعاد من إيجاد الحل السريع لكل المشاكل التى كانت موجوده فى التصميم السابق. حيث لم يكن التصميم يتضمن مشاكل تخص الأمان فقط, و لكنه كان يتطلب أيضاً وجود زياده 700 مم فى إرتفاع فراغ البئر فوق مستوى تشطيب أرضية أعلى وقفه أكثر مما يطلبه الآخرين. أغلب الآبار الموجوده بها فراغ محدود أعلى مستوى تشطيب أرضية أعلى وقفه (حوالى 2,800 – 3,500 مم), و الذى بسببه إكتسبت المصاعد بدون غرفة ماكينه طلب عالى فى حالة الإستبدال الكامل للمصاعد داخل المبانى القائمه بالفعل.

الخلوص العلوى

بإفتراض أن المسافه بين ثقل الموازنه و بين المخمد الخاص به هى ٢٠٠ مم, و أن الإنضغاط ١٧٠ مم (على الأقل), يجب تحقيق أربعة شروط عندما يستقر ثقل الموازنه على المخمد الخاص به الذى يكون فى حالة إنضغاط كامل:

- يظل من الممكن تحرك الكابينه بتوجيه من دلائل الحركه إلى إتجاه الصعود, و يجب أن يكون ذلك لمسافه تساوى أو أكبر من أقل مسافة تحرك, التى تحددها المعادله ٠,١ + ٠,٠٣٥ V² (م), حيث V هى السرعه المقننه (م\ث).
- المسافه الخاليه أعلى سطح الكابينه يجب أن تكون على الأقل ١+٠,٠٣٥ V² (م)
- المسافه الخاليه بين أكثر أجزاء سقف البئر إنخفاضاً و أعلى جزء من كراسى توجيه تجهيزة الحبال و أى جزء من الأبواب المنزلقه رأسياً يجب أن تساوى على الأقل ٠,١ + ٠,٠٣٥ V² (م). أيضاً, المسافه بين أكثر أجزاء سقف البئر إنخفاضاً و بين أعلى جزء من أى جهاز آخر مُثبت على سقف الكابينه يجب أن تكون على الأقل ٠,٣ + ٠,٠٣٥ V² (م).
- يجب أن يوجد فراغ فوق الكابينه كافى لإستيعاب منشور تكون أبعاده على الأقل ٠,٥ × ٠,٦ × ٠,٨ م مستقر على أحد جوانبه. للمصاعد تعليق مُباشر, فإن حبال التعليق و تثبيتاتها يمكن أن تكون داخل هذا الفراغ, بإشتراط أن لا تتعدى المسافه بين محور الحبل و على الأقل أحد الأوجه الرئيسيه للمنشور ١٥٠ مم.
- بالمثل, عندما تستقر الكابينه على المخمد الخاص بها و المنضغط تماماً, فإن مسافة تحرك ثقل الموازنه بتوجيه من دلائل الحركه, الذى يظل مُتاحاً فى الإتجاه إلى أعلى يجب أن تكون على الأقل ٠,١ + ٠,٠٣٥ V² (م).

عُمق حفرة البئر

بإفتراض أن المسافه بين الكابينه و المخمدات الخاصه بها هى 50 مم, و أن الإنضغاط هو 170 مم (على الأقل), يجب تحقيق الشروط التاليه عندما تستقر الكابينه على مخمداتها المنضغطه تماماً:

- يجب أن يوجد فراغ فى البئر كافى لإستيعاب منشور بأبعاد لا تقل عن ٠,٥ × ٠,٦ × ٠,٨ م مُستقر على أحد جوانبه.
- المسافه الخاليه بين قاع البئر و (أ) أكثر جزء مُنخفض من كراسى توجيه الكابينه , أو كتلة فرامل الطوارئ, أو ستارة باب الكابينه, أو أى جزء من الأبواب المنزلقه رأسياً يجب أن تكون 0.1 م على الأقل. (ب) أكثر جزء منخفض من الكابينه, فيما عدا الأجزاء المذكوره تفصيلاً فى (أ) يجب أن تكون 0.5 على الأقل.
- المسافه الرأسيه الخاليه بين قمة المعدات المُثبته فى البئر, مثل وسيلة شد حبال التعويض, و أكثر الأجزاء إنخفاضاً من الكابينه, فيما عدا المعدات المذكوره تفصيلاً فى (أ) يجب أن تكون 0.3 م على الأقل.

- The free distance between the lowest part of the ceiling of the hoistway and the highest part of the guide shoes of rope attachments and any part of a vertical sliding door must be at least $0.1 + 0.035V^2$(m). Also, the distance between the lowest part of the ceiling and the highest part of any other equipment fixed on the car roof must be at least $0.3 + 0.035V^2$ (m).
- There should be sufficient space above the car to accommodate a prism block with minimum dimensions 0.5 X 0.6 X 0.8 m resting on one of its faces. With direct-roping elevators, the suspension ropes and their attachments may be included in this space, provided that the distance between the rope centerline and at least one vertical face of the block does not exceed 150 mm.
- Similarly, when the car rests on its full compressed buffers, the guided travel of the counterweight, which is still possible in the upward direction, must be at least $0.1 + 0.035V^2$(m).

Pit Depth

Assuming the distance between car and its buffers is 50 mm, and compression is 170 mm (as minimum), the following conditions must be satisfied when the car rests on its fully compressed buffers:

- There must be sufficient space in the pit to accommodate a prism block of the dimensions with minimum dimensions 0.5 X 0.6 X 0.8 m resting on one of its faces.
- The clear distance between the bottom of the pit and (a) the lowest part of the guide shoes, safety-gear blocks, toe guides or any part of the vertical sliding doors must be at least 0.1 m. (b) The lowest part of the car, except for items detailed in (a), must be at least 0.5 m.
- The free vertical distance between the top of the components fixed in the pit, such as a tensioning device for compensation ropes, and the lowest part of the car, except for components detailed in (a) (one bullet above) must be at least 0.3 m.

	Existing Design (1:1) التصميم الحالى (1:1)	New Design (2:1) التصميم الجديد (1:2)
Minimum Headroom أقل إرتفاع لفراغ البئر فوق مستوى تشطيب أرضية أعلى وقفه	4.36 m (minimum) 4.36 متر (على الأقل)	3.69 m 3.69 م
Minimum Pit أقل عمق لحفرة البئر	1.557 m 1.557 متر	1.557 m 1.557 م
Number of Ropes عدد الحبال	8-10	4-5
Size of Motor حجم المحرك	A	60% of A 60 % من A
Motor Cost تكلفة المحرك	B	60% of B 60 % من B
Forces and Loads on Gears القوى و الأحمال المؤثره على النظام	C	50% of C 50 % من C

Expected Outcomes

Other Models

Your author also produced two other models for Company B, which were similar to the lift I designed for the LU project in 2004. (I also saw a similar design in Sydney, Australia, in January 2020). Since these were not adopted, they are allowed to be published as my personal exercises (Figures 16 and 17).

Lessons

Your author learned many solutions for MRL lift design when working at a multinational corporation. This design can be extrapolated in the following ways:

- The diverter wheels can be hung underneath the supporting beams.
- The car-sling height can be further reduced by 200 mm; minimum headroom can be changed to 3,500 mm.
- Pit depth can be reduced to 1.350 m.
- *D*/*d* should be at least 45.

Contributions to the Project

Your author did the following in working on the project:

- Overruled the existing design, which had many concealed safety problems
- Considerably reduced costs and manufacturing complexity
- Set up a powerful 3D computer-aided-design system for the company
- Improved design capability from bespoke MRL lifts having a maximum capacity of 800 kg to a whole series of lifts with higher maximum capacities ready for mass-manufacturing.

Conclusions

The following conclusions can be drawn:

- MRL lift design is based on the PM motor; it is imperative to select the right one. The motor serves as the first consideration in the design.
- The size of the PM motor is determined by applied torque, rather than power.
- A roping ratio of 2:1 is always better than 1:1.
- Compared to a pencil-style conventional PM motor, a disc/flat PM motor is always the first choice for MRL lift design.
- Top drive is always better than bottom drive: the ropes in a bottom-drive system are required to be too long with too many diverters, which considerably shorten rope life.
- 3 m/s should be the maximum speed for an MRL lift; otherwise, the rope speed is too fast.
- Maximum travel height for an MRL lift should be less than 120 m; otherwise, the PM motor can easily overheat due to frequent stops/starts. Orders for lifts that must run for a long time should not be filled with MRL lifts when total travel exceeds 100 m.
- The MRL lift is a light-duty product and should not be recommended for heavy-duty purposes, such as for public housing, multistory parking garages or railway stations. If there is a special need, higher-power-rated MRL units should be employed so more car weight can be allowed, making the lift car more robust (e.g., an 800-kg-capacity standard MRL lift modified as a 630-kg-capacity MRL lift with a heavy, robust car).
- The MRL lift was first launched in 1996. These patents should have expired by end of 2016, so some ideas of MRL lift design can be used for any project. Should usage questions arise, it is recommended to consult a patent agent to confirm.
- Nowadays, PM motors, instead of AC geared machines or DC gearless machines, are widely used in machine-room-above lifts. As I have experienced some tender submissions that used MRL lift solutions for machine-room-above lifts to reduce cost to a minimum, particular attention must be paid to those "small machine room" lifts for mid-rise buildings. Simply moving the machine of an MRL lift out of the shaft to the machine room to build a machine-room-above lift is not acceptable, especially for office buildings, for which the roping ratio of the machine-room-above lifts should be 1:1, rather than 2:1. This is because a machine-room-above lift machine would have larger tolerance, better reliability and longer rope lifespan at 1:1, as opposed to 2:1.

Standards Compliance

The top clearance and the pit depth in this article was compliant with EN81-1:1998 (as the design was done in 2004-2009).

References

[1] Petzhong Ma. "The Key Solution of MRL Design," *China Elevator*, 2002, 13(5): p. 7-10.

[2] Lubomir Janovsky. *Elevator Mechanical Design, 3rd Edition.*

[3] European MRL lift patents

Hongliang Liang, MSc, CEng, MCIMSE, is director for Aliang Lift Design Studio Ltd. in London. Prior to this, he most recently worked at MovveÔ Lift Consultants Ltd. since June 2014. There, he modified the company's traction lift pit load calculation tool to create one for MRL lift reaction loads. This provided the worst-case calculation for all MRL lifts, except cantilevered ones. He began studying MRL lift technology upon entering the industry at Quality Lift Products Ltd. as a product-development engineer in 2003.

النتائج المتوقعه

نماذج أخرى

قام كاتب المقال بتصميم نموذجين آخرين للشركه B, الذين كانا مُشابهين للمصعد I الذى تم تصميمه لمترو أنفاق لندن سنة 2004. (أيضاً شاهدت تصميم مشابه فى سيدنى, أستراليا, فى يناير 2020). و حيث لم يتم إستخدامهما, فمن المسموح نشرهما كتجارى الشخصيه (شكلى 16 و 17).

الدروس

تعلم كاتب المقال حلول كثيره لتصميم المصاعد بدون غرفة ماكينه أثناء عمله فى شركه متعددة الجنسيات. هذا التصميم يمكن إستقراءه من الطرق التاليه:

يمكن تثبيت طارات التعليق أسفل كمر التحميل.•

♦ يمكن زيادة تقصير إرتفاع كادر الكابينه بمسافة 200 مم; تغيير أقل إرتفاع لفراغ البئر فوق مستوى تشطيب أرضية أعلى وقفه ليكون 3,500 مم.

♦ يمكن تقليل عمق البئر إلى 1,350 مم.

♦ D\d يجب أن تكون 45 على الأقل.

مُساهمات كاتب المقال فى المشروع

قام كاتب المقال بالأعمال التاليه فى المشروع:

♦ ألغى التصميم السابق, الذى كان به مشاكل كثيره مُستتره تخص الأمان

♦ قلل إلى حد كبير من التكاليف و تعقيد التصنيع

♦ أسس – بمساعدة الكومبيوتر - نظام تصميم ثلاثى الأبعاد للشركه

♦ تحسين القدره التصميميه من مصاعد بدون غرفة ماكينه يوصى بأن تكون حمولتها القصوى 800 كج إلى سلسله من المصاعد بحمولات قصوى أعلى جاهزه للتصنيع بالجمله.

الخلاصه

يمكن أستنتاج النتائج التاليه:

♦ تصميم المصاعد بدون غرفة ماكينه يعتمد على محرك دائم المغناطيسيه: من الأساسى إختيار المحرك المناسب. يُعتبر المحرك هو الأساس الأول للتصميم.

♦ يتم تحديد حجم المحرك دائم المغناطيسيه تبعا للعزم و ليس القدره.

♦ نسبة التعليق 2:1 أفضل دائماً من 1:1.

♦ بالمقارنه مع محرك دائم المغناطيسيه مُستدق الطرف, فإن المحرك دائم المغناطيسيه على شكل قرص \ مسطح هو دائماً الإختيار الأول عند تصميم مصعد بدون غرفة ماكينه.

♦ التعليق من أعلى هو دائماً أفضل من التعليق من أسفل: الحبال فى نظام التعليق من أسفل من المطلوب أن تكون طويله جداً مع وجود طارات توجيه كثيره جداًتتسبب فى تقليل ملحوظ فى عمر الحبل.

♦ 3 م \ ث يجب أن تكون أقصى سرعه لمصعد بدون غرفة ماكينه; و إلا ستكون سرعة الحبال عاليه جداً.

♦أقصى مشوار للمصاعد بدون غرفة ماكينه يجب أن يكون أقل من 120 م; و إلا, سترتفع درجة حرارة المحرك دائم المغناطيسيه بسهوله بسبب تكرار التوقف \ بدء الحركه. أوامر التوريد للمصاعد التى يجب أن يستمر تشغيلها لفترات طويله يجب أن لا تحتوى على مصاعد بدون غرفة ماكينه عندما يتجاوز طول المشوار 100 م.

♦ المصعد بدون غرفة ماكينه هو منتج للتشغيل الخفيف و يجب أن لا يتم إقتراحه لحالات التشغيل الكثيف, مثل المساكن العامه, أو الجراجات مُتعددة الطوابق, أو محطات السكك الحديديه. عند وجود إحتياج خاص, يجب إستخدام وحدات مصاعد بدون غرفة ماكينه عالية القدره بما يُتيح السماح بوجود كابينه أثقل وزناً بما يجعل المصعد أكثر متانه (مثل, مصعد قياسى بدون غرفة ماكينه حمولة 800 كج يتم تعديله كمصعد بدون غرفة ماكينه حمولة 630 كج مع كابينه متينه).

♦ تم طرح المصاعد بدون غرفة ماكينه لأول مره فى 1996. براءات الإختراع هذه سوف تنتهى بنهاية سنة 2016, بما يسمح بإستخدام بعض أفكار تصميم المصاعد بدون غرفة ماكينه لأى مشروع. عند ظهور سؤال بخصوص الإستخدام, يُنصح بإستشارة وكيل براءات إختراع لتأكيد ذلك.

♦ الآن, يتم بتوسع إستخدام محركات دائمة المغناطيسيه, بدلاً من ماكينات مزوده بمحركات تيار متردد أو ماكينات بدون تروس مزوده بمحركات تيار مستمر, و ذلك فى المصاعد التى لها غرفة ماكينه أعلى البئر. حيث لاحظت أن بعض العروض التى يتم تقديمها تستخدم حلول المصاعد بدون غرفة ماكينه فى المصاعد التى لها غرفة ماكينه أعلى البئر من أجل تقليل التكلفه إلى أقصى حد, فيجب الإنتباه جيداً بشأن هذه "الغرف الصغيره للماكينه" فيما يخص المبانى متوسطة الإرتفاع. ببساطه فإن نقل ماكينة مصعد بدون غرفة ماكينه إلى خارج البئر إلى غرفة ماكينه أعلى البئر ليس مقبولاً, خاصة فى حالة المبانى الإداريه, التى تتطلب أن تكون نسبة تعليق المصاعد فيها 1:1 بدلاً من1:2. و ذلك لأن الماكينة لمصعد له غرفة ماكينه أعلى البئر قد يكون لها تسامح أكبر, و موثوقيه أفضل و عمر أطول للحبال لنسبة التعليق 1:1, بالمقارنه بنسبة التعليق 1:2.

التوافق مع المواصفات القياسيه

إرتفاع فراغ البئر أعلى مستوى تشطيب أرضية أعلى وقفه بالإضافه إلى عمق حفرة البئر المذكورين فى هذا المقال متوافقين مع EN 81-1:1988 (لأن التصميم تم فى الفتره 2004 – 2009).

المراجع

[1] Petzhong Ma. "The Key Solution of MRL Design," China Elevator, 2002, 13(5): p. 7-10.

[2] Lubomir Janovsky. Elevator Mechanical Design, 3rd Edition.

[3] European MRL lift patents

هونجليانج ليانج, هو مدير أليانج ليت ديزاين ستوديو المحدوده فى لندن. قبل ذلك, كان يعمل لوقت قريب فى موفيو ليفت كونسلتانتس المحدوده, منذ يونيه 2014. هناك, قام بتعديل وسيلة عمل حسابات الشركه بخصوص أحمال أرضية الحفره لمصاعد الجر من أجل إنشاء طريقة حسابات لردود الأفعال المؤثره على أرضية البئر للمصاعد بدون غرفة ماكينه. وفر ذلك حسابات لأسوأ ظروف المصاعد بدون غرفة ماكينه عدا التصميم الذى يستخدم كابول. بدأ دراسة تقنية المصعد بدون غرفة ماكينه منذ عمله بالصناعه فى شركة كواليتى ليفت برودكتس المحدوده, كمهندس تطوير إنتاج فى سنة 2003.