

電力建設勘测設計參考資料

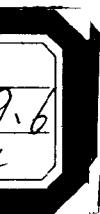
59001

煤粉系統設計的改進

煤粉系統會議資料

水利電力部電力建設總局編

水利電力出版社



煤粉系統設計的改进

水利电力部电力建設总局編

*

1875R608

水利电力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

北京市書刊出版業營業許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 开本*1 $\frac{1}{2}$ 印張*45千字

1959年2月北京第1版

1959年2月北京第1次印刷(0001—4,100册)

統一書号：15143·1477 定价(第10类)0.40元

前 言

十年来，在党的正确领导下，我国电力建设事业取得了巨大的成就。新建的火力发电厂中煤粉锅炉使用较多。为了适应建设的要求，电力设计人员从毫无经验的基础上，经过学习苏联先进经验，逐渐成长起来，终于能够掌握煤粉系统设计技术，并能独立思考进行设计。设计的具体内容，在初期大体上是学习苏联的设计习惯。但是由于受国产设备条件所限，而且未能及时总结运行和设计经验，虽然考虑了煤粉系统如何更好地结合我国具体条件，但还很少掌握实践的经验。

全国煤粉系统会议的召开，就是为了总结运行和设计经验，研究适合我国的煤粉系统与设备，推动新型设备的生产，并促进煤粉系统设计的改革，以适应当前高速发展的规模巨大的电力建设的要求。会议于1958年11月10日至14日在上海举行，参加会议的有全国各电力设计单位、有关制造厂和生产单位、水利电力部技术改进局、第一机械工业部汽轮机锅炉研究所以及几个高等学校。会议着重讨论了磨煤设备的选择、制粉系统的简化以及磨煤设备的生产系列等问题。为使会议讨论的内容能够推广和贯彻到具体工作中，特将有关资料汇编成册，供煤粉系统设计人员参考。

每个工程设计都有独特的条件，煤粉系统的设计和锅炉的型式、容量、负荷以及电厂的发展都有密切的关系。因此在具体设计中，在应用会议决议的同时，还必须结合具体条件来考虑，特别是对于设备的选择，更应根据制造的实际情况和供应的可能性来进行，以免影响建设的进度。对于新型设备的制造，必须积极推动并主动配合制造部门克服存在的困难，促使及早实现。

会议对煤粉系统设计的改革起了促进的作用。在敢想、敢说、敢干的口号下，以及全体煤粉设计人员的共同努力下，新的创造将会不断出现，我们准备及时交流。对于准备研究的课题，正在设计人员的努力下，在制造、施工和运行等各方面的大力支持与配合下进行，相信我国煤粉系统设计将很快地就会创

目 录

一、制粉系統的簡化.....	3
二、磨煤設備的選擇.....	9
三、磨煤設備的生產系列.....	17
四、需待研究的問題.....	25
附录 I 东北、华北某电厂煤粉系統运行情况調查报告.....	26
附录 II 研磨无烟煤屑(AIII)的煤粉制造系統	33
附录 III 豎井式磨煤机运行报告.....	41
附录 IV V8型通风机式磨煤机試驗报告	48

一、制粉系統的簡化

我国新建的发电厂絕大部分都采用鋼球磨煤和帶中間儲倉的制粉系統。單位式系統按单个磨煤机与中間儲倉式相比較，由于节省了煤粉的分离裝置、煤粉倉以及部分聯絡管道，可以節約投資和鋼材，無疑是簡化系統的方向。但是由于下列的原因，單位式系統還未能得到广泛采用：

1. 一般認為單位式系統的可靠性較低，发生事故时直接影响到鍋爐的出力。

2. 磨煤机的出力随着鍋爐的負荷而变化。磨煤机不能在最大出力下运行，特別是采用鋼球磨煤机时，使單位耗电量加大，影响运行經濟性。

3. 設計規程上規定采用單位式系統时，每台鍋爐最少应配备两台磨煤机。采用两台磨煤机时，每台容量不得少于鍋爐額定出力的75%的耗煤量；磨煤机多于两台时如一台停用，其余磨煤机需保證鍋爐出力90%。因此，如果采用單位式系統，全厂的磨煤机数将大大超过中間儲倉式的方案。虽然每台磨煤机的煤粉管道較短，附屬設備較少，总的建設投資仍須增加。

4. 燃煤水分过高时，由于煤粉直接由磨煤机送入鍋爐，空气煤粉未經分离，水分会影响鍋爐燃燒。

5. 对于鋼球磨煤机，一般認為在負荷变化时，煤粉供应的反应迟緩，不够灵活。

因此，研究單位式系統的特点，在保證运行可靠的条件下，解除技术上旧有規定的束縛以及正确地确定單位式系統的使用範圍，对加速建設速度有重大意义。

单位式制粉系统的运行可靠性

我国电厂中，虽然采用单位式制粉系统所占的比例较小，但已有的运行经验还是可以吸取的。采用钢球磨煤机单位式系统的有天津、本溪、撫順和下关等电厂，其中天津及下关厂已有二十年左右的运行经验。据了解，天津自解放后近十年的运行中未曾发生煤粉系统爆炸事故，其他事故亦很少发生，煤粉系统的运行可以认为是安全可靠的。本溪建厂已四年，设备事故亦很少发生，因设备事故而影响锅炉运行的更少，先后只发生过磨煤机轴承温度过高而被迫停止运行的情况。

在单位式系统中，主要的机械有磨煤机及排粉风机。磨煤机运转速度不高，无特殊精密的部件，又不在特殊的高压高温下运行。在正常的维护和检修的情况下可以认为是一种可靠的设备，其大小修可以配合锅炉的大小修进行。排粉风机经常输送气粉混合物，易于磨损，但是调换转子时需时仅3~4小时，且可以事先安排检修时间。如配有备用转子，调换时间安排在日负荷低峰时，甚至可以不影响锅炉的正常运行。

单位式系统中比较可能发生的故事是给煤机及落煤管堵塞以及电源低电压掉闸，影响磨煤机运行。讨论的意见认为给煤系统的堵塞是应该解决的，可以考虑用在给煤机上装设堵塞指示器和检查孔、在落煤管上装设压缩空气吹煤装置、机械通煤器和改善落煤管等方法。解决顺利给煤的问题是设计中必要考虑的，不能因此而影响单位式系统的采用。根据几个电厂的运行经验，在运行中适当加以照顾，虽给煤有堵塞现象，但未曾影响过正常运行。至于电源低电压掉闸的问题，在现有的厂用电设计中，发生可能性不大，而且不会单独影响磨煤机的电源。如遇此种事故时，引、送风机及排粉机亦将受到影响，即使不采用单位式系统亦不能保证锅炉不受影响。

由此可见，单位式煤粉系统在运行上是有足够可靠性的，在正常的维护和检修下，以及在运行中适当加以照顾是不至影响供

电的安全的。

单位式系统的备用系数

設計規程中規定，采用单位式系統時每台鍋爐最少須配置两台磨煤机；采用两台磨煤机時，每台的容量需要滿足鍋爐的75%的出力；采用多于两台磨煤机時，如一台停止运行，其余磨煤机需要滿足鍋爐的90%的出力。這項規定使单位式系統的建設投資增加，限制了其可能使用的範圍。

規程中規定，磨煤机容量备用量的目的是考慮在磨煤机發生事故時保證鍋爐的出力。从运行經驗證明，磨煤机是一項可靠的設備，单位式制粉系統的運行可靠性已如上節所述，因此在鍋爐制粉系統中考慮過大的备用量，徒然使建設投資增加，應該根據磨煤机的特点以及鍋爐正常运行的需要來決定。

鍋爐在正常运行中，煤質不可能完全和試驗的煤種一致，因此磨煤机容量應有適當备用量以適應煤質（不是煤種）的變化。對於中速磨煤机和鋼球磨煤机，設備不需要經常進行檢修，在正常檢修周期間要求停止运行的機會很少。因此對其容量备用量的選擇，可以只考慮上述煤質變化的因數，每台鍋爐配置的磨煤机按鍋爐出力的115%計算。此時如鍋爐配有两台磨煤机，而萬一因事故須將其中一台停止运行时，則另一台可以維持鍋爐57.5%出力的需要。根據若干新建電廠在初期因供電負荷過低而較長時期在50%左右出力下运行的經驗，可以證明此時鍋爐仍可以保持穩定燃燒，特別是此時還可以考慮增加一次風量，在稍微加大煤粉粗度的條件下增加供粉量、或者對鋼球磨煤机用增加充球量的措施以提高磨煤机出力。

對於豎井式磨煤机和高速錘擊式磨煤机，由於鋼錘容易磨損，經常需要調換，而調換錘杆費時較長（調換錘頭需時不多，每次約一小時左右），在沒有足夠的運行經驗以證明其备用量可以降低前，暫時仍照原有規定。

鋼球磨煤机的单位式系統

鋼球磨煤机用于单位式系統中是完全可能的，几个电厂的运行經驗已足以証明(參閱附录 I)，而且对于正常負荷的变化亦能完全适应。根据国外經驗，有認為单位式系統的运行較中間儲仓式的还要优越，因而将中間儲仓式改为单位式系統的(參閱附录 II)。鋼球磨煤机本体結構可靠，在現有电厂中亦很少发生磨煤机設備事故，因此在采用鋼球磨煤机单位式系統时，还可以不受每台炉最少配两台磨煤机的規定約束，如有适当的磨煤机，每台鍋炉可以只配一台磨煤机。对于容量大于280吨/时以上的鍋炉，由于对大容量的鍋炉和磨煤机都还没有运行經驗，因此暫不推荐一炉一磨的选择原則。

在单位式系統中，排粉风机容易磨損，如果一般可以安排在低峯負荷时进行檢修，但在每台鍋炉配置一台磨煤机的情况下，为了避免在檢修时停炉，每炉可装备用风机，备用风机不需要每台都配有馬达而可以考虑全厂或者三四台鍋炉的备用风机合用一台馬达。虽然在檢修前必須預先将馬达装好，增加檢修的工作量，但是对解决目前配套設備供应困难是有帮助的。而且在缺乏足够的配套設備的情况下，还可以考虑若干台鍋炉合用一套备用风机(帶馬达)，互相調用。

鋼球磨煤机采用单位式系統和中間儲仓式系統的投資比較如表 1。

从表 1 看出，采用单位式系統每台鍋炉可以節約35,000元，鋼材15吨。在运行費用方面，采用单位式系統后，磨煤机虽然不能經常在滿負荷下运行，但如果磨煤机容量系按鍋炉出力的115%选择，在目前供电緊張情况下，磨煤机基本上在80%負荷下运行，所增加的耗电量不多。另一方面，排粉风机的阻力以及系統的漏风量則較低于中間儲仓式系統。因此，磨煤系統总的耗电量与中間儲仓式系統相差不多。在磨煤机容量选择适当时，单位式系統总的运行費用，包括厂用电耗、鋼材消耗以及折旧等項，

并不致較高于中間儲仓式系統。

鋼球磨煤机的单位式系統是可以广泛使用的，但是对于下列几种情况，則不宜采用：

1. 由于缺乏合适的磨煤机，因而选用单位式系統后形成备用量过大，或者在扩建厂中原有部分的磨煤系統有較大的富裕量，而且通过經濟比較，証实采用中間儲仓式有利时；

2. 电厂的負荷經常有急剧变化时；

3. 燃煤水分过大时(現有运行經驗中，对于水分为 15% 时，采用单位式系統仍然可以滿足要求，单位式系統容許的最大水分还需要在运行中积累經驗和进行試驗来确定)。

中速磨煤机和高速錘击式磨煤机的单位式系統

中速磨煤机和高速錘击式磨煤机的特性是調整灵活，耗电量基本上和出力成正比，因此是更适宜于用单位式系統的。国外的設計中，采用单位式系統甚为广泛，而我国的新建电厂亦全部采用，在今后設計中可以广泛采用。但是目前运行經驗 尚 不够丰富，对于磨煤机台数的选择暂时按一炉两磨或一炉三磨，不推荐采用一炉一磨的方式。

单位式系統的其他問題

1. 在单位式系統中，如果装縱向互連风管，則磨煤机容量可以按几个鍋炉統筹考虑，而且运行可靠性可以提高。联络母管可以

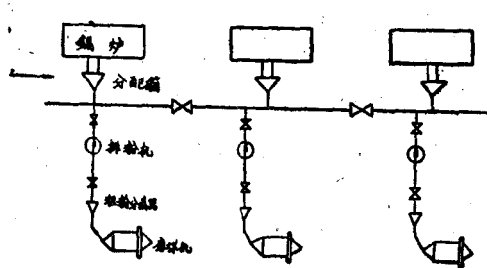


图 1

以装在正压側(图 1)或負压側(图 2)。燃用无烟煤时，装設母管是可能的，对于烟煤，則由于容易积粉可能发生爆炸。杭州电厂燃用烟煤，在排粉风机的正压側装設切换母管。使用

后用空气清扫存粉，未发生过爆炸。由于尚未有广泛的运行经验，尚不能作为定论。需要加以总结和进行试验。

2. 由于磨煤机品种不足，往往在设计中不易选到适当容量的磨煤机，限制了单位式系统的使用。在特殊情况下，如有需要，按两炉三磨（钢球磨煤机）（图3）或两炉五磨（中速磨煤机）配置是可能的。但是此时负荷调度不够灵活，管道亦较复杂，一般情况不推荐使用。

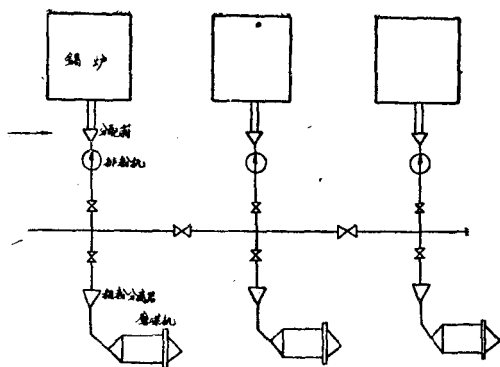


图2

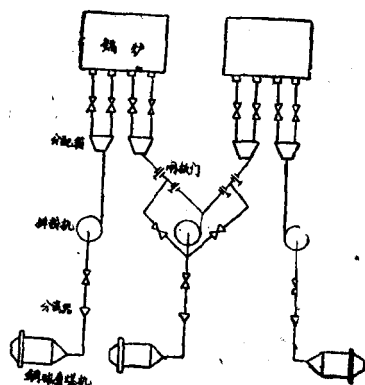


图3

二、磨煤设备的选择

我国大规模社会主义建设中，新建的发电厂大部分采用煤粉炉。在制粉设备方面，由于煤种不定，以及缺乏其他型式的磨煤机，大部分采用了最通用而最可靠的钢球磨煤机。但是选择磨煤设备时需要考虑下列几个主要问题：

1. 制粉系統所有設備的單位金屬消耗量；
2. 設備和有關建築的投資；
3. 運行費用，包括煤耗、廠用電、金屬消耗和折舊；
4. 容量和碾磨細度；
5. 運行的可靠性；
6. 在碾磨過程中，將燃料干燥至必要程度的可能性。

設備選擇不當將造成投資、鋼材和運行費用的浪費。在確定磨煤機型式時，必須結合我國當前的具體條件考慮。在目前條件下，節約投資和鋼材，對加速我國社會主義建設具有極其重大的意義；因之在技術經濟比較中，這些因素是應當首先考慮的。

各種磨煤機對不同煤種的適應性

鼓型低速鋼球磨煤機是適用性最大和最可靠的磨煤設備。其優點是對隨同燃料一起落入的雜物不敏感，適于研磨各種燃煤，并適合于各種型式與不同容量的煤粉鍋爐。但其機體與制粉系統有很大的缺點：即金屬消耗量很大，費用高，外型尺寸大，加工制造需要在重型機器廠，而在電站布置上亦占用很大的地位，增加建築費用，與其它型式磨煤機比較時，磨煤單位耗電量很高。故鼓型低速鋼球磨煤機設備僅宜用于磨制無煙煤、 $V^s \leq 10\%$ 的貧煤、焦煤，以及 $K^{mu} \leq 1.1$ 很硬的煙煤，與含有大量雜質（硫化鐵等）而能引起其他磨煤機元件急劇損耗的煤種；或者燃煤水分高，不適宜于採用其他磨煤設備時才採用。

中速磨煤機最适用于磨制煙煤，其耗電量最省，外形尺寸較小，比同容量鋼球磨煤機要輕2~3倍。其電動機負荷與磨煤機產量成直線關係，磨煤單位耗電量不因磨煤機負荷而變化，是為其採用單位式制粉系統的有利條件。中速磨煤機适用于磨制含水分不大（即 $W^p \leq 15\%$ ，最好是 $W^p = 5 \sim 8\%$ ），含灰分不大（ $A^c \leq 30\%$ ）或可磨性系數不太低（ $K^{mu} > 1.1$ ， $S_p^p < 6\%$ ）的煙煤與貧煤。我國煙煤絕大部分能滿足此條件。中速磨煤機配置于燃用煙煤、大容量的鍋爐上，無論在投資與維護費用上都顯得比較經濟。

与优越。但是由于结构比较复杂，短时期内在制造上不易满足大量供应的需要。

一般广泛采用的中速磨煤机有：中速球式(E型)、中速碗式(雷蒙型)以及水平转盘式(LM或BCM型)三种。其中以碗式水平转盘为佳。建议在制造上仿造苏联 BCM 型，其制造与运行操作比其他中速磨煤机简单，单位耗电量亦最省，能制造出大容量以配合大容量锅炉的需要，并能更完善地采用机械转动的筐式分离器，以使煤粉细度更为均匀。

竖井式磨煤机在结构上最简单，制造方便，投资费用与钢材消耗亦最省。煤粉制备与锅炉的配合简单，简化了系统与布置。对含有大量挥发物的燃料如褐煤、泥煤、頁岩、煤粉细度允许较粗，仍能保证经济燃烧，磨煤单位耗电量低。竖井式磨煤机亦能适用于磨制高水分、高挥发分的洗煤以及 $K^{*m} > 1.2$ 、 $V^* > 30\%$ 高挥发物的烟煤。一般说来，竖井式磨煤机磨制烟煤，尤其是用于大容量的锅炉，燃烧效率比采用其他磨煤设备低，机械未完全燃烧损失增加。但是由于制造简单，省钢材，采用竖井式磨煤机对加快建设速度有重大意义，特别是对于机械未完全燃烧在经过运行调整和操作熟练后是有可能降低的。国内目前已有230吨/时炉配用竖井式磨煤机，明年即可投入运行，将可以为大容量锅炉采用竖井式磨煤机提供运行的经验。

我国制造竖井式磨煤机可即采用切向进风式，近风口外形尺寸可比轴向进风式小，并可减少轴的直径和长度。切向进风式除可以节省钢材外，磨煤电耗亦可降低，磨煤机轴的工作条件与通风条件亦比轴向式好，可以在鼓风机供给热空气的正压下运行。切向竖井式磨煤机亦适用于旋风炉。

风扇式磨煤机也具有竖井式磨煤机的优点：结构简单、制造方便、金属消耗量省、机体比竖井式磨煤机还要小。在运行时磨煤机进口部分产生负压，可抽吸干燥介质，而出口部分的正压能克服喷燃器的阻力以高速进入炉膛，扰动搅拌，使燃烧良好，并能极其迅速地应付锅炉负荷的变化。现国内尚未积累以此种磨煤

机磨制各种不同烟煤、褐煤的运行經驗与技术经济指标。但国内已有电厂采用，需即着手試驗研究，及时总结。

各种型式磨煤机的技术经济比較

鍋炉容量 ≥ 80 吨/时，一般以采用鍊条炉较为经济，不考虑用煤粉炉，但对于褐煤、頁岩、泥煤，則不論鍋炉容量大小，都以采用豎井式磨煤机较为合适。

为了研究不同型式磨煤机的经济性，特别是对于 $30\% \geq V^* \geq 20\%$ 的煤采用豎井式磨煤机的合理性，爭論較多，因此选择了 $V^* = 23.24\%$ 的煤种，以140吨/时炉为对象进行了配用各型磨煤机的技术经济比較，在磨煤机的选择上分别选用了250/390鋼球磨煤机，BCM1150/880中速磨煤机两台，及IIIMT1300/256₄/735豎井式磨煤机三台三个方案。经济比較的数据及結果为：

碳 C ^p	64.2%
氢 H ^p	3.53%
氧 O ^p	3.3%
氮 N ^p	1.03%
硫 S ^p	3.04%
灰 A ^p	23.91%
水分 W ^p	0.99%
揮发物 V [*]	23.24%
低位发热量 Q _{st} ^o	6030 大卡/公斤
可磨性 K ^{smu}	1.82

$$\text{鍋炉耗煤量} = \frac{D(i-t)}{\eta \cdot Q_{st}^o} = \frac{140 \times 10(795-176)}{0.88 \times 6030} = 16.3 \text{ 吨/时.}$$

1. 鋼球磨煤机:

$$\text{出力} = \frac{0.1 D_0^{2.4} \cdot L_0 \cdot \gamma \cdot n_0^{0.8} \cdot \varphi_0^{0.6} \cdot K_{AO} \cdot \Pi_{AA1} \cdot \Pi_{AA2} \cdot K_{OP} \cdot K_{OK}}{\Pi_{OP} \sqrt{\ln \frac{100}{R_{0.0}}}}$$

式中 $K_{AO} = 1.82$ ——根据分析;

$\Pi_{AA1} = 0.98$ ——根据計算;

$\Pi_{\sigma A2} = 1$ ——根据計算；

$K_{\sigma p} = 1$ ——根据苏联計算标准；

$K_{\sigma K} = 0.9$ ——根据苏联計算标准；

$\Pi_{\sigma p} = 1.07$ ——根据热工手冊；

R_{90} 选用 18%

$$\therefore \sqrt{\ln \frac{100}{18}} = 1.31.$$

$$250/390 \text{ 磨煤机出力} = \frac{38.6 \times 0.453 \times 1.82 \times 0.98 \times 1 \times 1 \times 0.9}{1.07 \times 1.31} \\ = 20 \text{ 吨/时.}$$

$$\frac{\text{磨煤机出力}}{\text{鍋爐耗煤量}} = \frac{20}{16.3} = 122.7\%.$$

2. 中速磨煤机

$$\text{出力} = \frac{5.9 D^3 \cdot K_{\sigma 0} \cdot \Pi_{\sigma A1} \cdot \Pi_{\sigma A2}}{\Pi_{\sigma p} \cdot \sqrt{\ln \frac{100}{R_{90}}}}$$

选用 BCM 1150/880

$$\text{每台出力} = \frac{5.9 \times 11.5^3 \times 1.82 \times 0.98 \times 1}{1.07 \times 1.31} = 11.5 \text{ 吨/时}$$

$$\frac{\text{两台中速磨煤机出力}}{\text{鍋爐耗煤量}} = \frac{23}{16.3} = 140.1\%.$$

3. 豎井式磨煤机

$$\text{出力 } B = \left(0.310^{-3} D^{2.6} n^{3.3} L \cdot K_{\sigma 0} \cdot \Pi_{\sigma A1} \cdot \Pi_{\sigma A2} \right. \\ \left. \times K_{us} \cdot \sqrt{1.43 \frac{N}{N_{xon.A}} - 1} \right) / \left(\Pi_{\sigma p} \cdot \ln \frac{100}{R_{90}} \right)$$

$$R_{90} \text{ 选 } 25\% \quad \therefore \ln \frac{100}{R_{90}} = 1.386.$$

$K_{us} = 0.85$苏联計算标准

$$\text{轉速} = 735 \text{ 轉/分时, } N = 45 \cdot L \cdot D = 45 \times 1.3 \times 2.564 = 150.$$

$$N_{xon.A} = 61.1$$

苏联計算标准

140 吨/时 钢 球 磨 粉 系 统 的 投 资 比 较 表

表 2

项 目	钢 球 式 250/390				中 速 式 BCM 1150/880				立 井 式 HMT1300/2564/735				备 注
	规 范	数 量	重 量 (吨)	价 格 (元)	规 范	数 量	重 量 (吨)	价 格 (元)	规 范	数 量	重 量 (吨)	价 格 (元)	
磨煤机(包括电动机)	250/390	1	48	140,740	BCM1150/880	2	44.2	137,462	1300/2564/735	3	45	126,000	
钢球			25	9,000									
电动机	380瓩	1	3	14,260	155	2	3.2	11,594	245	3	5.3	19,665	
排粉风机	BM40/730	1	2.34	11,964									
电动机	230瓩	1	2	9,696									
给煤机	Φ856/30	1	0.7	3,635	20吨/时	2		7,014		3	2.10	10,520	
电动机	2.8瓩	1			2.8瓩	2	1.4	428	2.8瓩	3	0.21	642	
给粉机	2~6吨/时	8	4.8	16,800									
电动机	0.9瓩	8											
粗粉分离器	Φ2,500	1	2	11,146									
细粉分离器	Φ1,600	1	2.083	11,558									
煤粉管道		15	5	7,500			8	5,600			12	5,600	
热风管道				2,500			4						
螺旋给煤机	Φ400	0.5台	3.1	6,150									
电动机	6.8瓩												
平台、支吊架、装璜材料		4		2,000			1.5	750			1.5	750	
小 计		117.023		246,949			62.3	162,848			66.11	163,177	
安装、制作、人工费用				39,600				16,285				16,318	
总 计 总 投 资				286,549				179,133				179,495	

表 3

140 吨/时 鍋爐

項 目	單 位	鋼 球 式 250/393	中 速 式 BCM1150/880	豎 井 式 1300/2564/735
1. 鍋爐煤耗費:				
9/4 損失	%	1.5	1.5	4.0
鍋爐效率	%	89	89	85.5
小時煤耗量	噸/時	16.3	16.3	16.7
每年煤耗量	噸/年	114,100	114,100	116,900
每年煤耗費	元/年	2282,000	2282,000	2338,000
2. 電耗費用:				
磨煤電耗	延時/噸	16.25	10	13.3
通風電耗	延時/噸	8.35		
給煤電耗	延時/噸	0.13		
給粉電耗	延時/噸	0.15	0.2	0.25
總計電耗	延時/噸	24.88	10.2	18.55
需要功率	延	405	167	310
電耗	延時	2835,000	1179,000	2170,000
每年電耗費用	元/年	85,050	35,370	65,100
3. 鋼材磨耗費用:				
鋼材磨耗	公斤/噸	0.317	0.11	0.233
每年鋼材磨耗	噸/年	36.2	12.55	27.2
每年鋼材磨耗費用	元/年	14,480	5,020	10,880
4. 折舊費用:				
投資數值	元	286,549	172,148	208,688
每年折舊費用	元/年	16,600	10,390	10,400
5. 總計運行費用				
	元/年	2398,130	2332,790	2424,380

$$\sqrt{43 \frac{N}{N_{\text{non},A}} - 1} = \sqrt{1.43 \times \frac{150}{61.1} - 1} = 1.58.$$

$$\begin{aligned} \text{每小時出力} &= (0.3 \times 10^{-9} \times 14.8 \times 10^9 \times 1.82 \times 0.98 \\ &\quad \times 1 \times 0.85 \times 1.58) / 1.07 \times 1.386 \\ &= 7.2 \text{ 噸/時.} \end{aligned}$$

$$\text{豎井磨煤機出力} = \frac{3 \times 7.2}{16.3} = 132.5\%.$$

根據以上計算證明，三個方案都能滿足鍋爐滿負荷的需要，磨煤機容量的備用量都超過15%。經濟比較的結果可以歸納成