

煤直接液化工程中煤储运系统的火灾危险因素及防范措施研究

秘义行，黄鑫，杜霞，陈彦菲

摘要：煤储运是煤液化工程的重要组成部分，处于整个工程的前端，煤液化工程巨大的原煤消耗量使得煤储运系统非常庞大。此外，煤液化工程对原料煤的严格要求也使得其煤储运系统的火灾危险性与燃煤电厂的不同。而且是多家研究，成果较分散。本文主要针对煤直接液化工程的特点，对液化煤和贮煤筒仓、室内圆形料场、带式输送机等煤储运设施的火灾危险因素进行了研究，并提出了相应的防范措施，以为相关规范的制订提供技术依据。

关键词：煤直接液化，煤储运系统，火灾危险因素，火灾防范措施

1 引言

我国是一个石油消费大国，2003 年我国已超过日本成为仅次于美国的世界第二大石油消费国。我国石油对外依存度也逐年提高，石油安全问题已成为我国对外政治、外交的议题。然而，与世界大多数国家相比，中国能源资源特点是煤炭资源丰富。所以在国家战略层面上，必须具备石油替代能源的产能，以取得战略平衡。在国际油价高企的今天，煤直接液化工程不仅成为获利的商业项目，而且更成为保障国家经济命脉和政治安全的重要战略项目。

2004 年 8 月，我国首个煤直接液化项目——神华煤直接液化厂，在内蒙古自治区鄂尔多斯市开工建设。此外，尚有其它煤直接、间接液化项目建成或在建或进入立项阶段。在煤炭直接液化工程的建设中，由于尚未对消防安全问题进行深入研究，没有直接用于该工程的防火设计规范，在工程设计中常遇到现行规范未包括或不适用的问题，成为困扰工程建设的一大难题。所以，急待开展煤直接液化工程火灾危险性研究，为制订适用该工程建设的防火规范奠定基础。

煤储运是煤液化工程的重要组成部分，处于整个工程的前端，煤液化工程巨大的原煤消耗量使得煤储运系统非常庞大。国内外有许多涉及煤储运系统的火灾危险及防范等的研究和论文，但主要是针对燃煤电厂，而且是多家研究，成果较分散。另外，煤液化工程对煤有着较为严格的要求。为此，本研究在借鉴其以前

[基金项目] 本文受公安部应用创新项目“煤制油装置火灾危险性及其防减灾措施的研究“(2008YYCXTXSI57)和公安部消防局重点攻关项目“煤炭直接液化工程火灾危险性研究“(2008XFGG006)资助

研究成果的同时，针对煤液化工程的特点，进一步开展液化煤和贮煤筒仓、室内圆形料场、带式输送机等储运设施的火灾危险因素及其防范措施研究，为相关规范的制订提供技术依据。

2 液化煤的特点及火灾危险性

煤液化一般要选择 C/H 原子比比较高、挥发分较高的那些煤种。我国适合直接液化的煤特性参数见表 1。

表 1 适合直接液化的煤特性参数

煤	工业分析, %			元素分析, %				
	水分	灰分	挥发份	碳	氢	氮	硫	氧(差减)
	M _{ad}	A _d	V _{daf}	C _{daf}	H _{daf}	N _{daf}	S _{daf}	O _{daf}
山东兖州北宿	3.04	3.55	42.18	82.27	5.56	1.49	3.62	7.97
山东兖州滕县	4.13	8.70	39.84	82.82	5.52	1.74	1.15	8.98
山东龙口	1.42	12.28	45.11	77.39	5.53	2.14	0.77	14.17
神华神木	3.80	4.09	37.69	81.55	5.07	1.24	0.27	11.87
吉林梅河口	5.00	10.86	46.20	75.66	5.61	1.91	0.52	16.30
辽宁沈北	5.85	12.68	51.38	70.89	5.46	1.68	1.04	20.93
辽宁阜新	1.35	13.46	42.36	75.79	5.56	1.52	1.03	16.10
辽宁抚顺	5.08	9.32	39.02	80.57	5.44	2.35	0.86	10.78
内蒙古海拉尔	7.12	10.33	43.60	73.47	5.01	1.10	1.32	19.10
内蒙古元宝山	6.77	13.30	43.83	74.25	6.22	1.11	2.67	15.75
内蒙古胜利	4.24	10.01	45.71	71.65	4.83	0.83	1.40	21.29
黑龙江依兰	1.63	9.86	49.00	78.23	6.04	1.44	0.22	14.06
甘肃天祝	1.79	5.58	44.21	80.09	6.04	1.86	0.88	11.13
云南先锋	5.00	10.86	46.20	68.75	4.80	2.06	0.90	23.49

煤在常温下的氧化能力主要取决于挥发分的含量，挥发分含量越高，自燃倾向性越强，而且自燃时间也会相应缩短。所以，挥发分是判断煤着火特性的首要指标。按照国家煤炭分类，干燥无灰基挥发分大于 37% 的长烟煤属高挥发分易自燃煤种。对于干燥无灰基挥发分为 28%~37% 的烟煤，在实际使用中因其具有自燃性也视作高挥发分易自燃煤种。

目前，电厂设计与运行只要求煤挥发分的含量，对挥发分的可燃成分及所占比例不做进一步分析。为了进一步评价煤的火灾危险性，合理建议储运系统的消防措施，我们与西安热工研究院有限公司的燃料与燃烧试验室进行联系，在氮气环境下用气相色谱仪对部分烟煤挥发分可燃成分及所占比例进行了实验测试，测

试结果见表 2。

表 2 部分烟煤挥发分可燃成分及所占比例数据

可燃成分	比例 (%)
H ₂	42-51
CH ₄	28-32
CO	7-10
C ₂ H ₄	2-3
H ₂ S	0.75

灰分含量低会使火焰传播速度加快，自燃时间缩短。当水分远远大于化学反应的需要量时，因其不能放出润湿热而不能自燃，水分会成为煤自燃的阻化剂。

由表 1 可见，煤液化用煤的挥发分是所有煤中最高的，而水分、灰分较低，这决定了其有高自燃危险。

3 贮煤筒仓火灾危险因素及预防措施

3.1 基本情况

为了解决露天堆场储煤造成环境污染、煤炭损失、煤质下降、煤含水量增加、冻结等问题和节约土地，出现了贮煤筒仓这种储煤形式。贮煤筒仓用于燃煤电厂，经历了近 30 年的历史，目前单座筒仓容量已经建到 3 万吨以上。由于贮煤筒仓有上述优点，它是涉煤企业的主要储煤方式之一。

贮煤筒仓主体大都采用预应力钢筋混凝土结构，顶部除了必须的输料，入料设备和防雨棚外，没有其它设施。新建的大型及超大型筒仓输送设备自动化程度都很高，贮煤筒仓顶部可做到无人操作。在国内外，贮煤筒仓都发生过不少自燃和爆炸事故。因此，贮煤筒仓在业内尚有不同的认识，有些电厂就因火灾事故而放弃了这种储煤方式。但在环保和节约土地的政策约束下，我国不但不会停止贮煤筒仓的建设与使用，而且会走大型化（单座容量 3 万吨）道路。

3.2 贮煤筒仓主要火灾危险因素

贮煤筒仓的消防安全事故形式主要表现为煤自燃、爆炸。

除了前文所述的挥发份高外，煤储存时间长，煤层因自热致使温度过高而自燃是主要原因。燃煤电厂露天煤堆的自燃现象并不鲜见。煤储存到筒仓内，因煤的导热系数较小，又无良好的空气对流，所以筒仓储煤更容易造成热量在煤堆内聚集，更易发生自燃，而且极易成灾。此外，煤露天堆放时间越长，氧化程度越高，进仓后就越易自燃。如石景山热电厂将室外堆放过一段时间的高挥发份煤入

仓，不到 2 周就发生了自燃。

煤的自燃与筒仓的工艺结构形式有关。工艺结构形式阻碍煤的流动，则煤易滞留，久之则自燃。如某热电厂由于其贮煤筒仓的结构存在死角，而使煤长时间滞留，多次发生自燃，且有一次导致了爆炸。

筒仓自燃一般在中下部起火，灭火须从下部出口卸料，比较困难。当贮煤自燃后，切不可盲目地从顶部浇水灭火。因为在自燃较严重的情况下，浇水会促使燃煤因燃烧不充分而产生大量的一氧化碳气体。致使火未扑灭，又增加了新的爆炸因素。如某电厂多种煤长时间混存，发生自燃后采取放空措施不能奏效，两天后喷水，结果爆燃，防爆门被冲开，方圆 1 公里内有黑雨。

贮煤筒仓爆炸成因：

一是原煤中瓦斯含量高，如 1984 年 4 月，加拿大不列颠哥伦比亚省某煤矿一座 1.2 万吨贮煤筒仓由于瓦斯在仓内聚积，遇点火源后发生了爆炸。

二是煤自燃后释放出大量气体造成仓内压升高，继发爆炸。

三是根据对氮气环境与空气环境下煤挥发份可燃成分的分析，储煤自热后释放出可燃气体，有发生气体爆炸的危险。

3.3 贮煤筒仓的防火措施

由于煤液化用煤具有高自燃危险，且煤液化工程的火灾风险远高于燃煤电厂，其相应火灾防范标准理应高于燃煤电厂。为了避免贮煤筒仓发生火灾爆炸事故，在设计筒仓时，应考虑以下几方面事项。

a) 筒仓的直径不宜过大，可借鉴电力系统对筒仓的贮煤量的有关规定，以降低风险和便于使用管理；

b) 筒仓的高度不宜过大，以便于人员上下处置可能的事故，同时避免进仓运输设备过长；

c) 筒仓仓顶部要设计防爆门，防止仓内超压或煤自燃引起的爆炸；

d) 筒仓内壁光滑，连接处要平滑过渡，避免出现死角位置；

e) 筒仓内部所使用的钢架，角钢，应采用圆钢；

f) 筒仓内宜设置充氮保护设施；

g) 对筒仓中的储煤温度、可燃气体浓度、一氧化碳浓度及烟雾等参数进行监测，并针对出现的异常情况采取正确及时的应对措施，对相关的参数进行自动控制。

安装筒仓监测系统，可以早期发现筒仓贮煤发生自燃现象，将事故消灭在萌

芽阶段。筒仓的监控项目有煤的温度、可燃气体浓度、一氧化碳和烟雾的浓度(以上为直接控制项)以及煤的贮量(间接控制项)等。温度是贮煤自燃的首要条件;一氧化碳和烟雾的浓度反映了贮煤自燃的程度;煤的贮量涉及到贮存期的管理。

要正确核定贮煤时间,尽量不要超过煤的自燃发火期。而且,贮煤时间越长,氧化程度越高,煤的经济价值下降越多。仓内贮煤原则上先进先出,即倒仓顺序按来煤先后依次进行。当机组大修、故障停机或降负荷运行时,在燃煤用量减少、倒仓时间延长的情况下,应适当控制来煤量,以减少仓贮,保证适当的倒仓时间。同时,为保证筒仓中的储煤合理调配,筒仓中还应配置煤位监测设备,防止空仓或满仓。

加强现场管理,尽早发现煤自燃征兆,并采取处理措施。如发现有局部温度升高、冒热气、冒烟等现象时,即可判断该处氧化层已发生自燃。这时要立即停止筒仓入煤运行作业,并且对仓顶所有孔洞进行封堵,以隔绝空气。有条件或必要时,筒仓内注入惰性气体,阻止燃烧。同时要强化监视,根据包括料位计在内的各种监测仪器的显示值,分析确定燃煤的位置和程度,以决定采取正确的控制或消防措施及确定对仓内煤的定仓使用或紧急排放。

4 室内储煤场火灾危险因素及预防措施

4.1 基本情况

室内储煤场分为矩形储煤场和圆形储煤场。传统矩形储煤场的屋面一般采用三心柱面网壳,受柱面网壳水平推力的影响,一般采用落地支承。随着煤储量越来越大,矩形储煤场跨度从 60m 发展到 120m 以上,受堆取料机设备高度限制,难以向空间发展,单位面积储煤量难以增大,且平行轨式堆取料机设备也限制了配煤的灵活性,因此在一定程度上制约了其设计使用。圆形储煤场的顶盖一般采用球面网壳,球壳和环梁构成自承重体系,克服了矩形储煤场受结构受力不理想的瓶颈,在室内储煤场大型化、节约用地方面凸现优势,目前国内外广泛采用。

圆形储煤场由堆取料机、土建结构、钢结构弯顶及相关辅助设施构成。圆形煤场物料由堆取料机顶部进料,通过旋转悬臂堆料机向煤场堆煤,由刮板取料机旋转取料到中心地下煤斗,并通过煤斗下的给煤机和地下皮带机向外出料。目前,国内全封闭圆形煤场的最大直径为 120m。全封闭圆形煤场单位面积储煤量大,一个直径 120m 的圆形煤场的储煤量可达到 15 万吨以上。

4.2 室内储煤场火灾危险因素

室内储煤场火灾危险主要表现为煤自燃、煤粉尘和可燃气体爆炸。

如前文所述，煤经过长期大量堆积后，容易导致自燃起火，室内储煤场也不例外。室内储煤场自燃大都发生在距表层 1~1.5m 部位，相对于贮煤筒仓，室内储煤场自燃的处置一般容易些。

因为煤在室内储煤场的装卸、运输过程中可能有煤粉的扬起；煤中含有氢气、甲烷等可燃性气体，在装卸、运输过程中，这些可燃性气体会散发到大气中，对于高挥发份的煤，可燃气体浓度可能达到其爆炸极限。粉尘扬起达到爆炸浓度也可能发生煤粉尘爆炸。室内储煤场，特别是全封闭圆形煤场，因造价高，一旦发生煤粉尘爆炸等，将会造成重大损失。

4.3 圆形储煤场的防火措施

对于矩形室内储煤场的防火，《火力发电厂与变电站设计防火规范》等规范已做了相关规定。而对圆形储煤场，该规范尚无明确规定，且矩形室内储煤场也不是今后的发展方向，因此本文主要针对圆形储煤场提出相关消防措施。

煤自燃是缓慢进行的。起火前，即将着火部位的温度会较高，并且可嗅到异味和可见到白烟，预示着一氧化碳的浓度显著升高。为此，通过监测贮煤温度和一氧化碳浓度可检测到煤的自燃征兆。

直接测定煤层内部温度，是最有效的监测方法。另外，储煤场室内温度也需监测。当煤层温度或室内显著升高时，表明发生或即将发生自燃。

一氧化碳的密度和空气的平均密度接近，其流动状态与空气基本相同，在圆形储煤场顶部栈桥处设置一氧化碳浓度检测器即可。

为确保工作环境的安全，应保证氧气浓度在 18% 以上。在室内储煤场，由于煤发生氧化或通风系统故障会导致氧气浓度降低。在输送带的路由和空气流通不畅及二氧化碳容易聚集的地方应设置氧气检测器。另外，堆积的煤在发生自燃起火的初期，由于产生一氧化碳，同时氧气的浓度也降低，为了预测自燃起火，也可以在贮煤场内设置氧气检测器。

对于圆形储煤场，受堆储煤形式的限制，难以像其它库房那样设置室内消火栓。已经建成或在建的工程，大都在挡煤墙和中央立柱上装设有若干台消防水炮，如宁海电厂 120m 圆形储煤场共设置 36 门固定炮。消防水炮可控制或扑灭圆形储煤场自燃火灾，且在一定程度上保障灭火人员的安全，是目前较理想灭火设施。但受消防水炮射程和设置数量的限制，对于直径较大的圆形储煤场，可能会出现消防水炮覆盖不到的盲区。为此，应在适当位置设置消火栓，以满足灭火需要。

由于煤尘和可燃气体混在空气中呈悬浮状态，发生爆炸是瞬间的事，目前无法抑制。所以，应从两个方面进行预防。一是通过对煤尘和可燃气体浓度监测和干预，阻止其达到爆炸极限；二是建筑本身具有泄爆能力，通过爆炸卸压避免建筑整体被破坏而造成重大损失。具体措施建议如下：

a) 全封闭圆形储煤场顶部应设置必要的泄压设施；

b) 为降低煤尘和可燃气体的浓度，应安装整体通风和吸尘装置，保证通风装置连续运转；

c) 洒水和界面活性剂是降低煤尘浓度的有效措施，为抑制装卸、运输和堆积煤作业过程中产生煤尘，应安装撒水装置；

d) 利用甲烷气比空气易扩散的性质，在贮煤场上部排气流集中的部位安装甲烷（CH₄）气体检测器，排气中甲烷的浓度应在 1.5% 以下；

e) 煤场内设置煤尘浓度计，对水分较多的煤尘，考虑到会引起煤尘浓度计粘结或堵塞而失灵，可以定期地测定煤尘的浓度或使用便携式测量仪器进行测定。

5 带式输送机火灾危险因素及预防措施

5.1 基本情况

带式输送机（电动机、减速机、输煤皮带、托辊）是输煤系统的重要组成部分，由于其自动化、专业化程度高和连续、大运量作业，在煤炭装卸中发挥了极其重要的作用，早已广泛用于涉煤企业。在燃煤电厂，煤的厂内运输大都采用带式输送机，煤液化等煤化工企业也不例外。当带式输送机设置在架空建筑内时，将它与所属建筑统称为运煤栈桥。由于运煤栈桥为当前煤化工企业普遍采用，所以本文主要针对运煤栈桥进行了研究。

以往，以燃煤电厂为代表电厂的运煤栈桥楼面大都采用 1.2 mm 厚压型钢板作底模的钢筋混凝土楼面。这种楼面自重大，耗钢量较大，施工周期长且工艺复杂。近几年，在许多工程中，运煤栈桥采用钢构架与轻板楼面的结构形式。这种栈桥用钢量减少，重量大大减轻、抗震性能显著增强、现场施工时间缩短，成为业内采用的一种新的结构形式。

在寒冷与多风沙地区，运煤栈桥多采用封闭式。在气象条件合适的地区，运煤栈桥多采用自然通风好的半封闭、轻型封闭或露天结构形式。

5.2 带式输送机火灾危险因素

带式输送机的皮带及传输的煤块为可燃物，有发生火灾的危险，并且由于带

式输送机通常是斜向上布置，发生火灾后，处于斜上方的可燃物容易受下方火焰的影响而使得带式输送机发生火灾后，火灾沿皮带向上蔓延非常迅速，全封闭运煤栈桥受“烟囱效应”的影响，火灾蔓延速度会更快。此外，全封闭运煤栈桥还有煤尘爆炸的危险。由于全封闭运煤栈桥大都有除尘或降尘措施，目前国内尚未有煤尘爆炸事故案例，而运煤栈桥的火灾事故时有发生。导致带式输送机火灾的原因包括：带式输送机故障导致皮带摩擦生热引发火灾；煤粉自燃；输送已经自燃的煤而引发火灾；电缆因过载、老化、短路等发生火灾而引燃；他处火灾累及；违章动用明火等。带式输送机的防火已成为煤炭装卸过程中不可忽视的问题。

5.3 带式输送机的防火措施

① 运煤栈桥的建筑防火要求

为防止因冰冻导致皮带打滑引发火灾，在有冰冻的地区，带式输送机应采用全封闭式运煤栈桥，并安装采暖设施；在无在有冰冻的地区，带式输送机可采用半封闭式运煤栈桥。运煤系统在充分满足功能要求的前提下，应减少转运环节，降低煤流落差。

全封闭式运煤栈桥的火灾危险性按丙类确定；厂区内运煤栈桥的耐火等级按不低于二级确定，其中楼板和承重构件的耐火极限不低于 2.50h 为宜；当栈桥内设置水喷雾灭火系统时，其钢结构可不采取防火保护措施。运煤栈桥的重点防火区域之间应采取防火分隔措施（一般采用水幕）；防火间距 8-25m；运煤栈桥长度超过 200m 时，应加设中间安全出口。

② 运煤栈桥的采暖设施要求

运煤栈桥及转运站、筛分破碎室等运煤建筑应选用表面光洁易清扫的采暖散热器，散热器入口处的热媒温度不应超过 160℃，严禁用明火取暖。

③ 带式输送机的设置要求

应针对带式输送机设置速度信号、输送带跑偏信号、落煤斗堵煤信号显示或报警装置和紧急拉绳开关安全防护设施。带式输送机的皮带应采用难燃胶带。

④ 电视监视与应急照明

运煤栈桥及转运站、筛分破碎室等运煤建筑应设置电视监视设施与急照明。另外，为了防止将已经在储煤设施内自燃的煤输送出去，从贮煤设施取煤的第一条胶带上应设置明火煤监测装置。

⑤ 运煤栈桥的除尘

运煤栈桥一般不设除尘设备，采用水力冲洗地面。转运站部分如果除尘风

量小,可设置单机机械振打除尘器。破碎筛分楼,需要较大除尘风量,一般采用湿式除尘器(但水不会排到煤里),或采用气体反吹袋式除尘器。

⑥ 运煤栈桥的消防设施设置要求

运煤栈桥内应设置消火栓系统和火灾报警系统。在运煤栈桥与转运站、筒仓、碎煤机室连接处设置防火分隔水幕。煤液化厂区内的运煤栈桥宜设置水喷雾灭火系统。

⑦ 运行管理要求

输煤皮带应定期进行轮换、试验,及时清除输煤皮带、辅助设备、电缆排架等各处的积煤和积粉,保证输煤系统无积煤和积粉。运行人员要按规定对运行和停用输煤皮带进行全面巡视检查,当发现输煤皮带上带有火种的煤时,应立即停止上煤,并查明原因,及时消除。输煤皮带停用时,要将皮带上的煤走完以后再停,确保皮带不存煤。

6 总结及展望

作为保障国家经济命脉和政治安全的战略发展项目,煤直接液化工程开始在我国得到发展。由于煤直接液化工程的特殊性,许多装置的火灾危险性与传统化工工程不同,防火设计也遇到前所未有的难题。煤储运是煤液化工程的重要组成部分,由于原煤消耗量巨大使得煤储运系统非常庞大,加上煤液化工程对原料煤的严格要求,使得煤直接液化工程中煤储运系统的火灾危险性要大于一般燃煤电厂中煤储运系统的火灾危险性。本文主要针对煤直接液化工程的特点,对液化煤和贮煤筒仓、室内圆形料场、带式输送机等储运设施的火灾危险因素进行了研究,并提出了相应的防范措施,以为相关规范的制订提供技术依据。

未来应进一步研究煤直接液化工程中磨煤装置、煤液化装置、制氢装置等具有特殊性的装置的火灾危险性,以保障煤直接液化工程的生产安全和行业的健康发展。

参考文献

- [1] 舒歌平, 煤炭液化技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.
- [2] 郭树才, 煤化工工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1996.
- [3] 王春萍, 我国煤液化概况[J]. 化学工程师, 2005, 12: 40-41.
- [4] GB 50016-2006, 建筑设计防火规范[S].
- [5] GB 50160-2008, 石油化工企业设计防火规范[S].
- [6] GB 50229-2006, 火力发电厂与变电站设计防火规范[S].

[7] 景兴鹏, 王亚超. 煤层自燃过程的实验模拟研究[J]. 中国矿业, 2009, 18(4): 110-112.

[8] 管品武, 姬志洋. 某大型煤仓火灾后结构检测鉴定与温度场分析[J]. 消防科学与技术, 2009, 28(2): 106-109.

——本文发表于《消防科学与技术》(2010年第2期)