

工业厂房天井式天窗建筑设计参考资料

上海冶金设计院

1971年11月

无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力。为了坚决贯彻“走中国自己工业发展的道路”，冶金企业土建工程设计中，对于如何减轻屋面重量和改变高大的天窗形式在实践中越来越受到人们的注意。

过去，在冶金企业厂房设计中多半是沿用较重的带有天窗架的纵向Ⅱ型天窗，考虑到既能满足通风要求，又能减轻屋面重量和降低单位面积造价，目前天井式天窗正日益地被采用着，尤为在高温车间中，正积极地采用着这种天窗形式。

目前，国内有关天井式天窗施工经验尚不多，这次仅将现有所了解到的一些设计，试验成果，编成此册，供同志们工作中参考。

由于水平有限，在汇编过程中定有不少差错，收集了解的内容也有它的局限性和片面性，还需要同志们在科学实验和生产实践中加以充实，逐步改正，逐步完善。

天井式天窗是利用屋架的部分上下弦间时高低差，在屋架上下弦杆上铺以屋面板构成，是利用屋顶空间构成的凹形的、间断的有如天井的天窗，与纵向Ⅱ型天窗相比，可以取消天窗架、挡风板和支撑，简化了屋盖系统，降低了厂房高度。同时，在通风采光效果上也比纵向Ⅱ型天窗好。

一、天井式天窗与纵向Ⅱ型天窗相比具有下列优点：

一、采用天井式天窗后，可以降低建筑物高度 $3 \sim 5$ M，相当于整个厂房高度 $1/6 \sim 1/8$ ，有利于防空隐蔽，并减少土石方工程量，有利于加快工程进度。

二、在满足生产前提下，采用天井式天窗，可以充分利用建筑空间，根据粗略分析，过去冶金厂房用纵向Ⅱ型天窗一般是在屋顶上加上一个 $9 \sim 12$ M宽、 $3 \sim 5$ M高的天窗架和挡风板，这个空间约占车间总体积 $10 \sim 20\%$ ，而采用天井式天窗后，可以完全省去这一部分空间，仍可满足通风采光要求，如上钢三厂为例约可减少体积 12% 。

三、采用天井式天窗，相应地可减轻屋盖重量，如首钢 850 车间约可减轻 5% 。

四、采用天井式天窗的布置比较灵活，可根据车间内热位置集中或分散布置通风口，有利于热和烟顺利迅速排出。

五、采用天井式天窗，车间外形较整齐，无显著高低差。

六、采用天井式天窗，可以做到纵横向都有天窗，采光效果好，光线也比较均匀，能提高工作面照度，有利于提高劳动生产率。

七、采用天井式天窗，通风效果比较好，可以用到三面或四面通风，局部阻力系数较小，空气动力性能好，排气量大，同时排气不受室外风向影响，保证窗口负压，不易产生热气流或烟尘倒灌现象。

通常对天窗通风效果分析的指标，有三个方面：

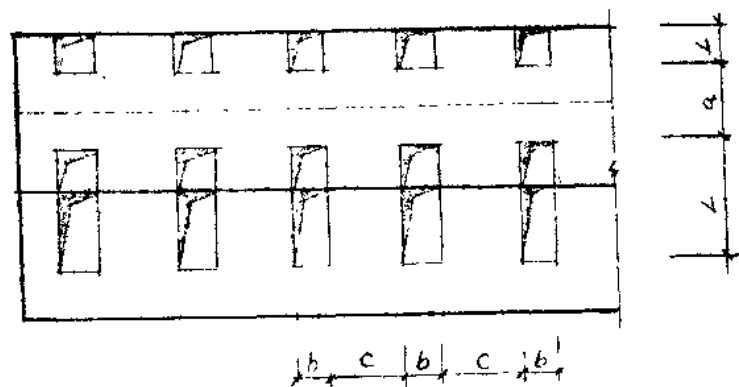
- 1、局部阻力系数 (ζ)
- 2、空气动力特殊曲线
- 3、空气动力系数 (K)

1、局部阻力系数 (ζ)，这是指车间内热气流经过天窗排出，天窗对气流产生阻力，当室外风速已定情况下，局部阻力系数较小，通风效果较好，也就是说在已定排风量条件下，局部阻力系数越小，则天窗的面积也越小。

表一(1-5)为各种天井式天窗和一个纵向Ⅱ形天窗的局部阻力系数和流量系数。

由表一所示大多数的天井式天窗的 ζ 值比纵向Ⅱ形天窗小，但对天井式天窗本身而言，局部阻力系数也有不同，且大小相差也较大，小到 2.49，大至 6.89，初步分析，影响局部阻力系数大小的因素，可能有如下几个方面：

为便于说明起见，假设见(图一)



图一

(1) 一般情况下， b 值大一些，局部阻力系数就小一些，排气量也

就大一些。

如：

(表二)

上钢三厂平炉车间	$b=18M$ (上口 $12M$)	$\zeta=2.56-2.61$
河南省某钢铁厂轧钢车间	$b=9M$ (// $7.8M$)	$\zeta=2.64-2.90$
40工程轨梁车间	$b=6M$ (// $5M$)	$\zeta=2.34-6.89$
某援外工程	$b=6M$ (// $5M$)	$\zeta=4.01-4.25$

(2) 若 b 值固定, 则 L 值越大, 局部阻力系数也越大。

如40工程轨梁车间

(表三)

II型	$b=6M$	$L=6, 12, 18M$	$\zeta=4.94$
III型	$b=6M$	$L=12, 33M$	$\zeta=6.99$

又如河南省某钢铁厂轧钢车间

(表四)

II ₁ 型	$b=6M$	$L=9M$	$\zeta=5.07$
II ₂ 型	$b=6M$	$L=9.6M$	$\zeta=4.84$
III ₁ 型	$b=6M$	$L=24M$	$\zeta=5.48$

(3) 若 b 值固定, 则 C 值越大, 局部阻力系数就越小。

如40工程轨梁车间

(表五)

III型	$b=6M$	$C=7M$	$\zeta=5.99$
IV型	$b=6M$	$C=33M$	$\zeta=4.64$

(4) 若 b 值固定, a 值越大, 局部阻力系数越小。

如上钢三厂

(表六)

I型	$b=18M$	$a=18M$	$\zeta=2.53$
II型	$b=18M$	$a=16M$	$\zeta=2.56$

但在试验资料中, 也偶有得出相反情况, 如上重厂铸钢工程中小造型工部的试验, b 值虽只有 $6M$, 而局部阻力系数仍相当小 ($2.49-3.21$), 其原因尚待进一步探讨。

另外从表一(1~4)所列示意图可以看出, 挡雨方式挡雨角度等不同, 也影响局部阻力系数的大小。

(1) 挡雨方式, 若采用挑檐延长, 能满足挡雨要求的话, 比用窗扇挡雨板的方式, 局部阻力系数小。

如河南某钢铁厂轧钢车间

(表七)

Π_1 型	挡雨方式: 有窗扇	$\zeta = 5.07$
Π_1 型		$\zeta = 5.48$
Π_2 型	挡雨方式: 去窗扇	$\zeta = 4.84$
Π_1 型	将挑檐延长至45°, 挡雨角度	$\zeta = 4.43$

如上重厂铸钢工程

(表八)

III型	挡雨方式 有窗扇	$\zeta = 3.21$
II型	挡雨方式 挑 檐	$\zeta = 2.93$

(2) 挡雨设施:

挡雨板设在上面(图二a)比设在下面(图二b)的局部阻力系数小,一般均可减少0.2~0.7左右。

挡雨板排数少的比排数多的局部阻力系数小,每减少一排,一般0.5左右。

如河南省某钢铁厂轧钢车间 (表九)

Π_1 型	孔上口三排板	$\zeta = 4.84$
Π_2 型	二排板	$\zeta = 4.30$
Π_4 型	一排板	$\zeta = 3.78$

2. 空气压力特性曲线,系指在不同风压

内余压与室外大气静压力之比称为相对压力)与相对速度 $\bar{v}$ (天窗孔口处平均排气速度与室外速度之比称为相对速度)之关系曲线,以衡量天窗在室外有风时,天窗的通风性能,一般说,曲线与垂直轴的夹角越大,则 $\bar{v}$ 值越大,排气量也就越小。

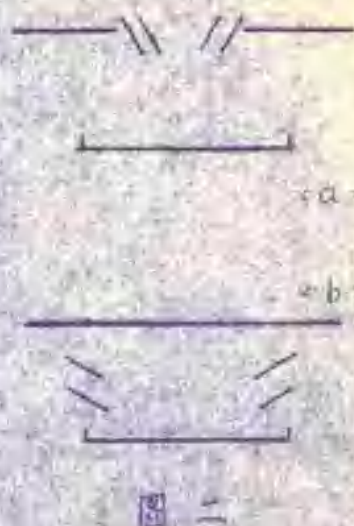
图三~图六是几个工程设计的空气动力特性曲线图,可以看出采用天井式天窗的通风性能良好。适用于高温车间其影响天井式天窗的空气动力曲线的因素可能有下列几方面:

假设仍是图一。

(1) 一般情况下, b 值越大, 曲线就好一些, 天窗排气速度大一些。

如

上钢三厂平炉车间	$b=18M$	当 $\angle=315^\circ$	$\bar{P}=2$	$\bar{v}=0.81$
40工程轨梁车间	$b=6M$	当 $\angle=315^\circ$	$\bar{P}=2$	$\bar{v}=0.62$



图二

(2) 若 b 值固定, L 值越大, 则曲线就差一些。

如 40 工程轨梁车间

(表十一)

I 型	$b=6M$	$L=51M$	当 $\angle=0^\circ 180^\circ \bar{P}=2$	$\bar{V}=0.56$
II 型	$b=6M$	$L=18M$	当 $\angle=0^\circ 180^\circ \bar{P}=2$	$\bar{V}=0.70$
III 型	$b=6M$	$L=13M$	当 $\angle=0^\circ 180^\circ \bar{P}=2$	$\bar{V}=0.65$

(3) 若 b 值固定, C 值越小, 则曲线也就差一些。

仍以 40 工程轨梁车间为例:

(表十二)

III 型	$b=6M$	$C=6M$	当 $\angle=0^\circ 180^\circ \bar{P}=2$	$\bar{V}=0.65$
IV 型	$b=6M$	$C=12M$	当 $\angle=0^\circ 180^\circ \bar{P}=2$	$\bar{V}=0.73$

另外, 擋雨方式不同, 对天窗通风性能也有影响, 如天窗扇改挑檐, V 值就大一些。

如河南某省钢铁厂轧钢车间 (当 $\bar{P}=2$ 时)

(表十三)

风向角	$0^\circ 180^\circ$	$45^\circ 135^\circ$	90°	$225^\circ 315^\circ$	270°	备 注
IV ₁ 型	0.64	0.62	0.03	0.61	0.62	纵向设挑檐
IV ₂ 型	0.57	0.56	0.56	0.56	0.57	纵向设窗扇

如上重厂铸钢工程 (当 $\bar{P}=2$ 时)

(表十四)

风向角	0°	45°	90°	备 注
II 型	0.88	0.84	0.90	纵向设大波瓦封墙
II ₁ 型	0.96	0.89	1.03	纵向设挑檐

3. 空气动力系数 (K), 系指在不同方向风的作用下, 排气口处的相对压力值, 用以衡量天窗在各个风向角度下的避风性能。

当 K 值为正数时, 天窗排气就会受到大气阻碍, 甚至会出现气流倒灌现象, 使天窗部分失去或完全失去排风效能, 而天井式天窗, 根据试验得知在各种风向作用下, 排风口都处于负压, 即 K 为负值, 说明避风性能良好。

但不同风向对 K 值也有影响

如 1200 薄板车间通用设计

(表十五)

风 向 角	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
总平均 K 值	0.114	0.318	0.472	0.435	0.112	0.176	0.342	0.272

如河南省某钢铁厂轧钢车间

(表十六)

风 向 角	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
总平均K值	-0.04	-0.27	-0.49	-0.36	-0.06	-0.21	-0.20	-0.19

由表(十五、十六)可知,当室外风向为 $\angle 90^\circ$ 时,K值最大,避风性能最好, $\angle 135^\circ$ 次之, $\angle 45^\circ$, $\angle 270^\circ$, $\angle 225^\circ$, $\angle 315^\circ$ 又次之 $\angle 0^\circ$ 与 $\angle 180^\circ$ 最差,可以得出这样的概念:

(1) 以车间垂直于夏季主导风向为最佳,成 45° 、 135° 较好,这种情况下K的绝对值最大。

(2) 若受地形条件限制,车间纵轴平行于夏季主导风向时,也不会产生倒灌现象。

以上是对影响天井式天窗通风效果的初步分析,该指出,这仅是对单个“天井”本身的结构形式、布置等情况而言,但在实际工作中必须考虑整个车间的通风效果着眼,这还须具体情况具体分析。

比如按上面的分析,天井式天窗的L值小,C值大,则局部阻力系数就小,空气阻力曲线也好些,但就整个车间而言,看布置的天窗总排风面积是否足够,若要加大排风面积的话,在车间面积已定情况下,就要加大L值,减小C值,虽然天窗本身通风效果差了些,但满足了总的通风要求,则这样做也是合理的。

又如K值虽都为负值,但由于厂房排出的气流最后要经过屋面水平孔口排出室外,因此还必须注意屋而以上各有关部位在不同风向作用下的压力分布情况,如40工程轨梁车间,由于与该车间垂直布置的钢坯仓库高出轨梁车间的屋而较多,当风迎钢坯库吹时,在近仓库区域的几跨厂房屋面上,局部就会出现正压区,同时从整个车间看,不同风向作用下,各排天窗的K值也有变化,从图七表(十七)看出:

(1) 当室外风向 $\angle 0^\circ$ 和 $\angle 180^\circ$ 时,各排天窗K虽为负值,但都比较小,仅在靠迎风山墙的2~3排天窗负值较大,但实际上自然风并不象试验室那样平稳,风与地而成一角度,K绝对值过小,避风性能不一定可靠。

(2) 当室外风向 $\angle 90^\circ$ 时,天窗避风性能最好,一、六列最佳,二列次之,其他一般。

(3) 当室外风向 $\angle 135^\circ$ 时,六列最好,一列次之,二、四、七列

列一般，其他较差。

(4) 当室外风向 $\angle 315^\circ$ 时，七列较好，六列一般，其他较差。

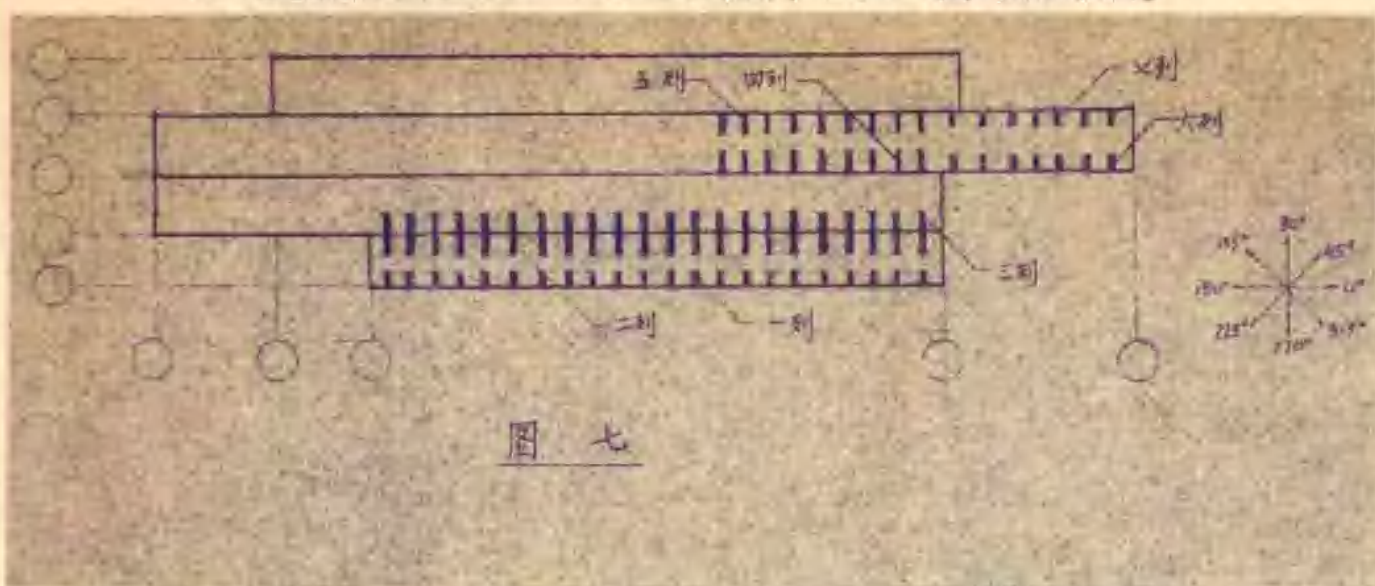


图 七

平均天窗 风向角 K 值	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
一 列	-0.05	-0.50	-0.80	-0.53	-0.06	-0.12	-0.21	-0.17
二 列	-0.03	-0.26	-0.51	-0.28	-0.04	-0.09	-0.09	-0.08
三 列	-0.02	-0.16	-0.33	-0.20	-0.06	-0.13	-0.21	-0.14
四 列	-0.02	-0.12	-0.31	-0.33	-0.08	-0.26	-0.72	-0.18
五 列	-0.22	-0.14	-0.27	-0.23	-0.03	-0.26	-0.33	-0.18
六 列	-0.03	-0.28	-0.81	-0.85	-0.14	-0.34	-0.44	-0.16
七 列	-0.03	-0.16	-0.32	-0.37	-0.13	-0.74	-0.69	-0.61

八、采用天井式天窗后，由于建筑物高度的降低，相应地减少风荷所引起的弯矩，可以达到节省钢筋砼用量和降低造价的目的。

例 1、上钢三厂平炉车间，采用天井式天窗后，使风力所引起的柱脚弯矩减少 112T-M，节约 300#—400# 砼 7.6 m³ 计 18000 余元，约可降低造价 4.04 元/m²（占柱及基础造价 2~3%），现再取与该车间跨度相近的某厂电炉车间相比（图八），各取 18 M 长的建筑面积作技术经济比较；见表（十八）



上钢三厂平炉车间屋架与井式天窗示意图

(表十八)

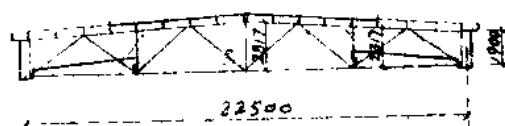
上钢三厂平炉车间 19 M 屋架 (2×9M 柱距)	上海×厂电炉车间 19 M 屋架 (3×6 M 柱距)
1. 19 M 预应力钢筋砼屋架 2 榀 2870 元	19 M 预应力钢筋砼屋架 3 榀 3620 元
2. 3×9 M 预应力双 T 型屋面板 12 块 3355 元	1.5×6 普通 II 型板 39 块 3101 元
1.5×6 M 普通 II 型板 12 块 959 元	
3. 1.0×9 M 预应力钢筋砼天沟 4 只 1450 元	0.7×6 普通钢筋砼天沟 6 只 274 元
4. 天井式天窗有关构件 2041 元	纵向 II 型天窗有关构件 4267 元

以全部屋盖计算, 则天井式天窗屋盖可比纵向 II 型天窗屋盖节约造价 5%, 2.18 元/ m^2 (屋架支撑及防水构件除外)。

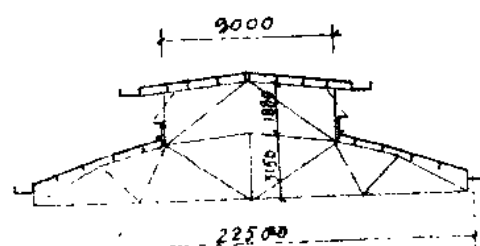
总计平炉车间 4480 m^2 由于采用天井式天窗每 m^2 可节约造价 6.22 元。

例 2. 首钢 850 均热炉跨采用天井式天窗后可节省造价 10%。

例 3. 上重厂铸钢工程中小造型工部 (图九), 采用天井式天窗方案, 可降低造价 2.5 元/ m^2 , 其经济技术指标见表 (十九)。



上重厂铸钢工程中小造型工部采用天井式天窗示意图
(原设计)



上重厂铸钢工程中小造型工部采用纵向 II 型天窗示意图
(已建)

(表十九)

上重厂铸钢工程中小造型工部 天井式天窗方案 (2×6M柱距)	上重厂铸钢工程中小造型工部 纵向H型天窗施工图 (2×6M柱距)
1. 22.5M钢筋砼屋架 2根 8.06 m ³ 2750 元	22.5M钢筋砼屋架 2根 6.62 m ³ 2250 元
2. 钢筋砼屋面板 6×1.5M 24块 5×1.14M 10块 19.38 m ³ 6×0.4M 2块 2725 元	钢筋砼屋面板 6×1.5M 28块 18.8 m ³ 6×1.0M 8块 2610 元
3. 钢筋砼天沟 6根 3.5 m ³ 453 元	钢筋砼天沟 8根 3.2 m ³ 414 元
4. 钢 窗 15.90 m ² 477 元	钢 窗 34.92 m ² 1048 元
5. 其他(汎水墙梁大波瓦隔断等) 884 元	其他(9M气楼架2根挡雨板墙梁等) 932 元
6. 基 础 5.0 m ³ 5000 元	基 础 5.7 m ³ 5700 元
合 计 12289 元	12954 元
每m ² 造价(270m ² 计) 4560 元	4800 元

例4. 嘉兴冶金机械厂铸铁车间取该车间跨度相同的上钢三厂开坯车间及X厂铸钢车间相比, 见图十, 表(二十)

(表二十)

嘉兴冶金机械厂铸钢车间 天井式天窗施工图 (3×6M柱距)	上钢三厂开坯车间 纵向Ⅱ型天窗施工图 (3×6M柱距)	上海×厂铸钢车间 纵向Ⅱ型天窗方案 (3×6M柱距)
1.屋架 24M 4榀 18M 4榀 31.4 m ² 10695元	屋架 24M 4榀 18M 4榀 22.48m ² 7650元	屋架 24M 4榀 18M 4榀 29.17m ² 9930元
2.预应力钢筋砼屋面板 1.5×6M 69块 1.5×6M 15块 1.4×6 3块 49.64m ² 11750元	预应力钢筋砼屋面板 1.5×6M 84块 40.58m ² 9520元	预应力钢筋砼屋面板 1.5×6M 78块 1.0×6M 6块 37.3m ² 9700元
3.钢筋砼天沟 20根 9.29m ³ 1204元	钢筋砼天沟 21根 9.72m ³ 1280元	钢筋砼天沟(不包括气 楼天沟) 6根 2.4m ³ 311元
4.其他(砼压顶拐条汎水 等) 1845元	其他(6M及9M气楼 架遮阳架等) 5087元	其他(9M气楼架挡雨 板等) 5758元
合 计 25494元	23437元	25739元
每m ² 造价(756m ² 计) 33.75元/m ²	31.1元/m ²	34.1元/m ²

从上述初步经济技术比较,可以看出

上钢三厂主要由于是9M柱距及柱顶标高较高(近20M)的原因,经济效果比较显著如9M间距屋架比6M间距屋架就可节约20%。

上重厂由于是6M柱距和轨面标高在10M左右,经济效果就不如上钢三厂显著,但总的仍有节省。

嘉兴厂经济效果更不显著,除6M柱距和轨面标高不高外,主要在屋架费用上增加较大,初步认为屋架本身设计可以由无竖杆改为双竖杆的话,屋架上弦360高可减至240,则可减少8m³砼,减少造价2800元左右。

现再以上重厂为例，同时出了两套施工图（一为天井式天窗方案。二为纵向门型天窗方案）天井式天窗方案是二面用大波瓦隔断，一面设窗扇，（见图十三）纵向Ⅱ型天窗的气楼高度也只有2 M左右，从经济角度看，天井式天窗的方案是在相当不利的条件下与纵向Ⅱ型天窗比较的，若然按一般三面通风的天井式天窗方案作比较的话则本来节约投资2.5元/m²可变为节约9 m²/元，粗略比较见表（二十一）

（表二十一）

改为三面通风的天井式天窗方案			纵向Ⅱ型天窗方案	
1.增加挑檐改	1.62 m ²	227元	1.减少钢窗	1040元
2.减少钢窗		447元	2.增加擋雨板擋风板等	2376元
3.减少大波瓦隔断		207元		
共减少		457元	共增加	1336元
每m ² 造价(270m ² 计)			每m ² 造价(270m ² 计)	
12289-457/270=43.0元/m ²			12954+1336/270=52元/m ²	

Ⅱ. 天井式天窗建筑构造上的特点:

天井式天窗很明显的一个特点是在屋架下弦节点处放拐条，拐条上沿厂房的横方向鋪屋面板，这下弦鋪板部分与上弦屋面板之间就形成窗口，由此使整个屋面形成一块块的沉降部分，象一个个“天井”，因此其建筑构造处理也与纵向Ⅱ型天窗有不同之处，一般情况下有:

1. 由于屋架下弦节点要放拐条，钢筋砼屋架也须采用相应的形式如采用无竖杆屋架或双竖杆屋架形式（见图十二、十四、二十一），也有用花兰拐条形式处理的（见图十三）。

2. 由于屋架上下弦鋪板方向不同，有的是一个柱距一个井口，也有的是二个柱距一个井口，就产生了屋架外露问题要解决，有的用花格板解决（见图十二、十六、十八），有的用挑檐封堵方式采处理（见图十三、十四）。

3. “天井”上面水平孔口的四周一般都有擋水条，因而屋架上下弦的屋面，各自有排水系统（图十二、十三、十六、十八）。

4. 若采用擋雨板处理防雨问题时，则天窗相邻的纵横两面垂直孔口擋雨板的排数和位置要上下错开，否则相邻两面的擋雨板端部直角相交，较难处理（见图二十、二十三）。

5. 若下弦屋面在柱列处，有托架时可不设拐条，屋面板直接鋪在

托架上即可（见图二十二）。

6. 若屋面需要清灰，每天井可设置一扶梯处理（图十六、二十二）也有用下弦屋面的天沟放宽和挡风墙上在每天井处设一小门的方式处理（图十二）。

附图十一~二十三为设计实例，供设计参考。

Ⅲ. 通过工作实践，天井式天窗也存在一些问题，有待工作中进一步探讨。

1. 天窗口高度受屋架限制，不能随意提高。
2. 建筑构件存在四多：水斗水管多；梯子多；屋面板类型多；汎水多。
3. 若装设窗扇，因受窗洞限制，往往不能用标准窗扇。
4. 烟尘多的车间，井底易积灰，扫灰比较困难。
5. 6 M柱距做天井式天窗不够理想，尚不能充分发挥天窗的通风性能和经济效果，最好采用9 M或12 M柱距，为设计宽天窗创造条件。
6. 经济上效果上尚须作进一步探讨，特别在高低跨上同时用天井式天窗时，经济效果不太好。

1972年5月重印